

# PRUEBA DE UNA MICROTURBINA TIPO MICHEL-BANKI DE BAJA POTENCIA

SANTIAGO GIRALDO JIMÉNEZ

COD: 200620011014

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2015

# PRUEBA DE UNA MICROTURBINA TIPO MICHEL-BANKI DE BAJA POTENCIA

SANTIAGO GIRALDO JIMÉNEZ

COD: 200620011014

ASESOR

LUIS SANTIAGO PARIS LONDOÑO

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN

2015

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	7
1 OBJETIVOS .....	8
1.1 Objetivo general .....	8
1.2 Objetivo específico .....	8
1.2.1 Objetivo 1. ....	8
1.2.2 Objetivo 2. ....	8
1.2.3 Objetivo 3. ....	8
1.2.4 Objetivo 4. ....	8
1.2.5 Objetivo 5. ....	8
2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	9
3 JUSTIFICACION .....	10
4 ANTECEDENTES .....	11
5 ALCANCE .....	12
6 ESTADO DEL ARTE.....	13
6.1 Turbomáquinas .....	13
6.2 Clasificación de las turbinas hidráulicas.....	13
6.2.1 Clasificación según el principio de funcionamiento. ....	13
6.2.2 Clasificación según la trayectoria de flujo.....	13
6.2.3 Clasificación por capacidad de generación. ....	13
6.2.4 Clasificación por número específico de revoluciones. ....	14
6.3 Turbina Michell-Banki.....	14
7 MARCO TEORICO .....	16
7.1 Listado de Variables.....	16
7.2 Calculo de la potencia hidráulica.....	17
7.3 Factor de velocidad .....	17
7.4 Calculo de la potencia al freno .....	18
7.5 Ecuación de Euler para turbomáquinas .....	18
7.6 Cálculo de la eficiencia .....	20
7.7 Cálculo del número específico de revoluciones .....	20
8 CONSTRUCCION Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS.....	21
8.1 Modificaciones .....	21
8.1.1 Modificación del alto de los alabes. ....	21

8.1.2	Modificación en la tapa superior del rodete.	22
8.2	Diseño del inyector.	22
8.3	Fabricación del inyector	25
8.4	Sistema de medición de presión	27
8.5	Sistema selector de ángulo	27
8.6	Carcasa.	28
8.7	Sistema de frenado	29
8.8	Sistema de regulación.	30
9	PLAN DE PRUEBAS.	31
9.1	Variables	31
9.2	Pruebas.	31
9.2.1	Determinación de caudal.	31
9.2.2	Determinación del coeficiente de velocidad.	31
9.2.3	Medición del ángulo de operación.	32
9.2.4	Determinación de la potencia al frenado.	32
10	PRUEBAS DE LABORATORIO	32
11	PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.	35
11.1	Calculo del caudal.	35
11.2	Cálculo del coeficiente de velocidad	35
11.3	Cálculo caudal y cabeza neta	36
11.4	Calculo de la potencia hidráulica	36
11.5	Cálculo del torque al freno	36
11.5.1	Coeficiente de fricción cinético	38
11.6	Cálculo de la potencia al freno.	39
11.7	Calculo de la potencia al freno empleando la ecuación de Euler para turbomáquinas	40
11.8	Calculo de la eficiencia	40
11.8.1	Eficiencia hidráulica.	40
11.8.2	Eficiencia hidráulica máxima	41
11.9	Calculo del número específico de revoluciones	41
12	RESULTADOS	42
12.1	Curvas de Potencia vs RPM	42
12.2	Curva de eficiencia-RPM	43
12.3	Curva de eficiencia-potencia.	43

12.4	Curva de isoeficiencia.....	44
13	DISCUSIÓN .....	46
14	CONCLUSIONES.....	47
15	RECOMENDACIONES .....	48
	BIBLIOGRAFÍA .....	49

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Turbina de flujo cruzado.....	14
Ilustración 2.	Rango de operación.....	15
Ilustración 3.	Teoría de la cantidad de movimiento hidráulico .....	18
Ilustración 4.	Diagrama de velocidades de la turbina Michell-Banki de flujo cruzado. ..	19
Ilustración 5.	Banco de pruebas de la turbina Michell-Banki.....	21
Ilustración 6.	Modificación hecha al rodete. ....	22
Ilustración 7.	Modificación de la tapa superior del rodete.....	22
Ilustración 8.	Área transversal del canal entre alabes .....	23
Ilustración 9.	Área transversal a la entrada y salida del inyector.....	23
Ilustración 10.	Contracción gradual en el inyector.....	24
Ilustración 11.	Coeficiente de resistencia – contracción gradual.....	24
Ilustración 12.	Velocidad de salida del inyector para H=5m.....	25
Ilustración 13.	Fresadora CNC de la Universidad EAFIT .....	25
Ilustración 14.	Molde en nylon del inyector .....	26
Ilustración 15.	Método de conformado por infusión con bolsa de vacío .....	26
Ilustración 16.	Superficie interna del inyector.....	26
Ilustración 17.	Sistema de medición de presión. ....	27
Ilustración 18.	Sistema selector de ángulos. ....	28
Ilustración 19.	Ángulo óptimo de operación. ....	28
Ilustración 20.	Estructura de la turbina .....	29
Ilustración 21.	Sistema de freno .....	30
Ilustración 22.	Sistema de regulación.....	30
Ilustración 23.	Diagrama de cuerpo libre de la turbina Michell-Banki modificada.....	37
Ilustración 24.	Curvas de Potencia-RPM.....	42
Ilustración 25.	Curva de eficiencia. ....	43
Ilustración 26.	Curva eficiencia-potencia.....	44
Ilustración 27.	Curva de isoeficiencia. ....	45

## **GLOSARIO**

Coeficiente de velocidad

Ecuaciones de Euler para turbomáquinas

Inyector

Micro generación

Potencia al freno

Potencia hidráulica

Número específico de revoluciones

Turbina Michell-Bank

## **INTRODUCCIÓN**

En este proyecto de grado se diseñó y construyó un banco de pruebas y un inyector para el rodete tipo Michell-Banki modificado de pico generación fabricado en el proyecto de grado: “Diseño y construcción de un rodete prototipo de una turbina tipo Michell-Banki”. Del estudiante de pregrado de la universidad EAFIT Daniel Paris Figueroa. El montaje construido se utilizó para efectuar pruebas de laboratorio en las que se midió para cuatro cabezas hidráulicas la velocidad angular para diferentes cargas de frenado aplicadas al eje con una zapata de freno. Con la información recopilada se calcularon potencia, eficiencia y número específico de revoluciones a los que opera la turbina.

# **1 OBJETIVOS**

## **1.1 Objetivo general**

Construir un montaje de pruebas para un rodete de una turbina hidráulica tipo Michell-Banki de baja potencia modificado para micro generación.

## **1.2 Objetivo específico**

### **1.2.1 Objetivo 1.**

Diseñar un montaje para la prueba de un rodete pequeño tipo Michell-Banki modificado.

### **1.2.2 Objetivo 2.**

Fabricar un montaje para la realización de las pruebas de la turbina.

### **1.2.3 Objetivo 3.**

Realizar pruebas de funcionamiento a la turbina.

### **1.2.4 Objetivo 4.**

Analizar la información obtenida de las pruebas de la turbina.

### **1.2.5 Objetivo 5.**

Concluir con base en el resultado de las pruebas.



## **2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

En Colombia las zonas fuera del sistema de red eléctrica nacional, principalmente el suroriente del país (UPME, 2013) utiliza para la generación eléctrica biocombustibles como el diésel (ACPM) y la gasolina para suplir las necesidades locales, que aunque cubre la demanda energética presentan inconvenientes medioambientales debido a la generación de CO<sub>2</sub>.

En el país se han planteado proyectos de generación limpia con FNCE (fuentes no convencionales de energía) como las PCH (pequeñas centrales eléctricas) tipo Michell-Banki y Pelton que representan una alternativa a las problemáticas micro energéticas de las pequeñas regiones rurales y apartadas de del país, pero se han visto truncadas por la falta de apoyo a las investigaciones realizadas en el país, que va en correspondencia con el poco presupuesto que se invierte a nivel mundial en PCH en comparación con otras fuentes de energía renovable (CORPOEMA, 2010).

### **3 JUSTIFICACION**

El uso de micro y pico generadores de energía a partir de fuentes hídricas representa una manera viable de suplir las necesidades de las poblaciones rurales apartadas que no estén incluidos en el corto plazo en los planes de expansión de la red eléctrica nacional, pertenecientes a ZIN y una diversificación de la canasta energética en las áreas comprendidas por SIN, además es una alternativa al uso de biocombustibles como la gasolina y el diésel los cuales son productores de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub> (CORPOEMA, 2010).

El uso de turbinas de baja potencia favorece el desarrollo de las pequeñas poblaciones rurales de estratos bajos, en especial las agrícolas ya que les da acceso a la energía eléctrica lo cual favorece el desarrollo de una producción más tecnificada y mejora la calidad de vida de las personas de la región.

El uso de turbinas de baja potencia contribuye al desarrollo rural ya que los componentes son de diseño simple y de fácil reparación, por lo que se puede contar con la misma comunidad para su manutención, además el hecho de ser una turbina de micro generación hace que sus dimensiones sean pequeñas facilita su accesos a áreas remotas donde no se podría realizar otro tipo de instalación (INEA, 1997).

El estudio de FNCE como las PCH brindan oportunidades de desarrollo para otras investigaciones y posibles proyectos, lo cual va de la mano con las políticas del Ministerio de Minas y Energía y la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) en el desarrollo de fuentes de energía renovable.

El estudio de diseños nuevos de turbinas de baja potencia aporta al desarrollo y masificación de este tipo de tecnología y brinda más opciones para realizar nuevos proyectos de PCH.

## 4 ANTECEDENTES

El poco desarrollo de las PCH ha generado en respuesta varios proyectos investigativos en diferentes universidades Nacionales en los últimos años, en la universidad EAFIT se han realizado algunos proyectos de grados sobre turbinas Michell-Banki.

El proyecto de grado: “Estudio y propuesta de rediseño de un prototipo de pico turbina Michell-Banki”, (Peláez, Estudio del funcionamiento y propuesta de rediseño de un prototipo de picoturbina Michell-Banki, 2012), presenta la construcción de un rodete el cual se instaló en la carcasa fabricada en el proyecto de grado: “Diseño y construcción de un prototipo de turbina Michell-Banki para pico generación en zonas no interconectadas” (Guerrero & Tapia, 2011), y se evaluó para diferentes caudales de apertura obteniendo el mejor punto de operación para una potencia al freno de 229,24 W a una velocidad de angular de 510 RPM.

En el 2012 el proyecto de grado: “Montaje y evaluación de un sistema prototipo de pico-generación hidroeléctrica con una turbina Michell-Banki”, el estudiante de pregrado Enrique Llano, continua con el trabajo del proyecto de Guerrero y Tapias, en el que se construyó un prototipo de turbina Michel-Banki. Realizando modificaciones a las piezas del prototipo Llano construyo un pico generador hidroeléctrico adecuando la turbina Michell-Banki a un motor asíncrono como generador, obteniendo una potencia eléctrica de 365 W para un caudal de 16.3 L/s y una cabeza hidráulica de 9m.

En el Proyecto de Maestría “*Study of the effect of the geometrical parameters of the runner and operation condition on performance and flow characteristics in a cross flow Turbine*” (Peláez, Study of the effect of the geometrical paameters of the runner and operation condition on performance and flow characteristics in a cross flow Turbine, 2014), se realizaron unas simulaciones CDF a 4 rodetes con diferentes configuraciones de alabes, con el fin de estudiar la trayectoria del fluido, los cabios de presión y velocidad al interior del rodete; la información se validó con pruebas experimentales, en las cuales se obtuvo la mayor eficiencia para una cabeza hidráulica de 4 m , una velocidad angular de 390.7 RPM con una potencia al frenado de 231.98 W.

En el proyecto de grado: “Diseño y construcción de un rodete prototipo de una turbina tipo Michell-Banki” (Paris, 2013) plantea el diseño y fabricación de un rodete tipo Michell-Banki para micro generación con una potencia estimada de 99 W para una cabeza de 5 m; Limitaciones de tiempo y recursos impidieron evaluar el funcionamiento del rodete.

En el presente proyecto se busca realizar un montaje con un sistema de alimentación de agua mediante una boquilla especial, para probar el funcionamiento del rodete modificado fabricado en el proyecto de “Diseño y construcción de un rodete prototipo de una turbina tipo Michell-Banki” (Paris, 2013), en cuatro valores de cabeza hidráulica.

## **5 ALCANCE**

En este proyecto se realiza la entrega de:

1. Los planos del diseño y modelo CAD del banco de prueba.
2. Planos y diseño CAD de la turbina tipo Michell-Banki Modificada.
3. Resultados y gráficas de las pruebas efectuadas.
4. Documentación del proyecto realizado, en formato digital.
5. Construcción de un banco de pruebas y boquillas para las pruebas del rodete de la turbina tipo Michell-Banki modificada de baja potencia

# 1 ESTADO DEL ARTE

## 1.1 Turbomáquinas

Las turbinas hidráulicas son máquina de fluido que transforman las energías potencial geodésica, cinético y de presión en energía mecánica. Estas transformaciones de energía se dan en la interacción del fluido con un rodete con paletas o alabes, la cual se transmite a través de un eje a un generador eléctrico.

## 1.2 Clasificación de las turbinas hidráulicas

### 1.2.1 Clasificación según el principio de funcionamiento.

En las turbina de desplazamiento positivo el fluido intercambia energía con el órgano alternante en forma de energía de presión creada por la variación de volumen, la variación del vector de velocidades del fluido no es importante; caso contrario al de la turbina rotodinámica en la que el cambio en la dirección y la magnitud de la velocidad del fluido al pasar a través del rodete es lo que determina la transferencia de energía.

### 1.2.2 Clasificación según la trayectoria de flujo.

El flujo en el rodete puede ser: axial, radial y mixta. La velocidad en las turbinas axiales tiene componentes paralelas al eje, como la turbina tipo Kaplan, en las turbinas radiales tiene componentes radiales y tangenciales como sucede en la turbina tipo Michell-Banki y las mixtas tienen las tres componentes. (Mataix, 2007)

### 1.2.3 Clasificación por capacidad de generación.

Las turbinas hidráulicas se clasifican también según la capacidad de generación de energía como se muestra en la figura 1.

Tabla 1. Clasificación según la potencia generada

Tipo	Rango de potencia
Grandes centrales**	Más de 100 MW
Medianas centrales**	15 – 100 MW
Pequeñas centrales**	1 – 15 MW
Minicentrales*	100 kW – 1 MW
Microcentrales*	10 – 100 kW
Picocentrales*	Hasta 10 kW

(Guerrero & Tapia, 2011)

### 1.2.4 Clasificación por número específico de revoluciones.

Las turbinas también pueden clasificarse según el numero específico de revoluciones  $N_s$ , este valor relaciona los parámetros más importantes en el diseño de turbinas: la cabeza hidráulica, la potencia y RPM de operación, con lo cual para unos parámetros de diseño dados se puede determinar el número específico de revoluciones y elegir la turbina que se encuentre en el rango del valor calculado.

Tabla 2. Velocidad específica

TIPO DE TURBINA	$N_q$	$N_s$
Turbina Pelton de 1 tobera	Hasta 9	Hasta 30
Turbina Pelton de 2 toberas	4 – 13	14 – 42
Turbina Pelton de 3 toberas o más	5 – 22	17 – 73
Turbina Michell-Banki	18 – 60	60 – 200
Turbina Francis Lenta	18 – 38	69 – 125
Turbina Francis Normal	38 – 68	125 – 225
Turbina Francis Rápida	68 – 135	225 – 450
Turbinas axiales	105 – 300	350 – 1000

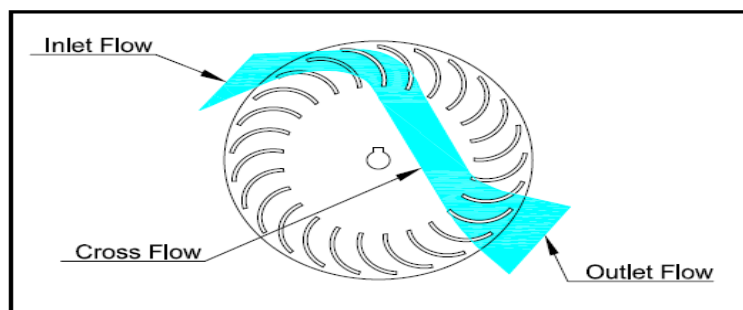
(Peláez, Estudio del funcionamiento y propuesta de rediseño de un prototipo de picoturbina Michell-Banki, 2012)

Los valores de potencia empleados para el cálculo del número específico de revoluciones generalmente se trabajan en caballos de vapor CV.

### 1.3 Turbina Michell-Banki

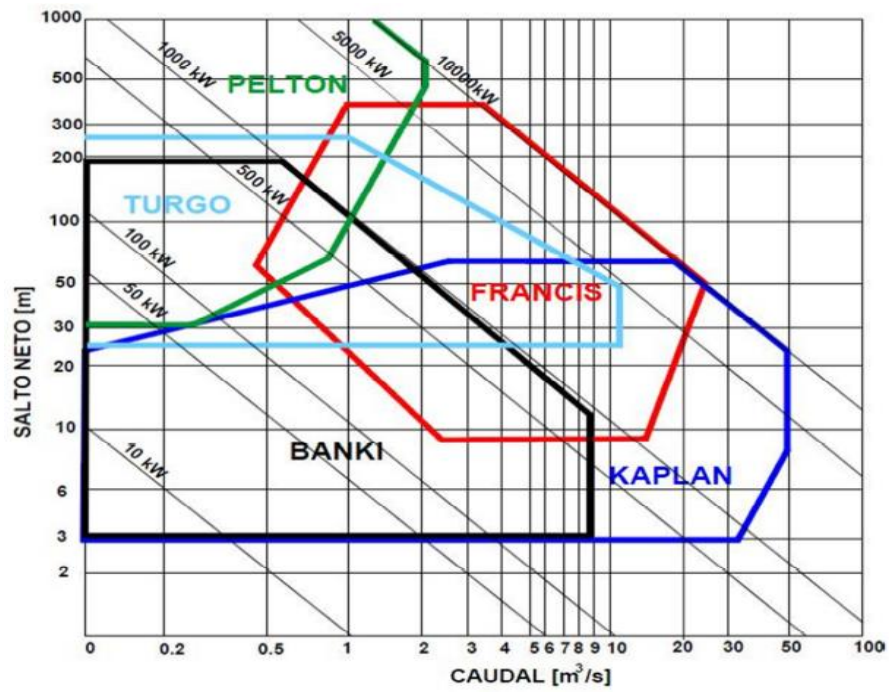
La turbina Michell-Banki es una turbina rotodinámica de flujo axial, se caracteriza por poder operar a bajos regímenes. (Ver Figura 2.) La turbina Michell-Banki intercambia energía con el agua que es suministra como un chorro libre, el cual interactúa con los alabes del rodete, pudiendo ser de flujo cruzado en cuyo caso, el fluido tiene dos momentos en los que entra en contacto con el alabe, es decir que hay dos etapas de generación, una primera etapa cuando entra el fluido al rodete y una segunda etapa cuando sale de este, (Ver figura 3.) o pudiendo ser de flujo no cruzado, en el que solo hay un intercambio de energía del fluido con los alabes a la entrada del al rodete.

Ilustración 1. Turbina de flujo cruzado



(Peláez, Study of the effect of the geometrical parameters of the runner and operation condition on performance and flow characteristics in a cross flow Turbine, 2014)

Ilustración 2. Rango de operación



(Guerrero & Tapia, 2011)



## 2 MARCO TEORICO

Para los cálculos efectuados en este informe se emplearon simplificaciones. El comportamiento del fluido se trató como un fluido ideal, incompresible y estacionario, también se utilizó la teoría del número infinito de alabes empleada en la ecuación de Euler para turbomáquinas.

Las ecuaciones empleadas a continuación permiten relacionar la velocidad angular del rodete, el caudal, la cabeza hidráulica y el torque al frenado, valores con los cuales se calcula la potencia extraíble del chorro que incide en el rodete, la potencia al freno, la eficiencia y el numero específico de revoluciones, que son los valores que definen el comportamiento de la turbina.

### 2.1 Listado de Variables

$\rho$ , densidad del agua a 25° C

$g$ , Aceleración de la gravedad

$\forall$ , volumen desplazado.

$K$ , factor de velocidad

$V$ , velocidad del fluido sin pérdidas.

$v$ , velocidad a la salida del inyector

$v_i$ , velocidad relativa del fluido respecto al rodete.

$C_i$ , velocidad absoluta del fluido.

$n$ , velocidad angular.

$u$ , velocidad tangencial.

$Q$ , caudal bruto.

$Q_n$ , caudal neto.

$T_{f\ Euler}$ , torque al freno empleando la ecuación de Euler para turbomáquinas.

$T_f$ , torque al freno.

$H_b$ , cabeza bruta.

$H_n$ , cabeza neta.

$\dot{W}_f$ , potencia al frenado experimental.

$\dot{W}_{f \text{ Euler}}$ , potencia al freno empleando la ecuación de Euler para turbomáquinas.

$\dot{W}_h$ , potencia hidráulica.

$N_s$ , número específico de revoluciones.

## 2.2 Cálculo de la potencia hidráulica

Para determinar la potencia hidráulica se requiere conocer el caudal a la salida en la boquilla el cual se calcula empleando el principio de conservación de la masa como se muestra en la ecuación 1.

$$\begin{aligned}\dot{m}_1 &= \dot{m}_2 \\ \dot{m} &= \rho Q = \rho VA = \rho \frac{V}{t} \\ Q &= VA = \frac{V}{t}\end{aligned}\tag{Ecuación 1}$$

La potencia hidráulica que puede ser extraída del fluido a través del rodete se expresa teóricamente como:

$$\dot{W}_h = \rho g Q H_n \tag{Ecuación 2}$$

Donde  $H_n$  es la cabeza neta que se calcula según el principio de conservación de la energía en un fluido ideal, incompresible, e isotérmico.

$$H = \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + Z \tag{Ecuación 3}$$

## 2.3 Factor de velocidad

La velocidad de salida del inyector no será la misma que se obtiene al utilizar la ecuación 1 debido a las pérdidas por fricción al interior de la boquilla, así que el valor de la velocidad considerando pérdidas a la salida del inyector se expresa como se muestra en la ecuación 4, (Lewitt, 1958).

$$v = kV \tag{Ecuación 4}$$

## 2.4 Cálculo de la potencia al freno

La potencia al freno es una forma de medir la energía mecánica extraíble del eje de la turbina, el cual se expresa como el producto de la velocidad angular del eje  $n$  y el torque a la salida del eje  $T_f$ . (Mott, 1996).

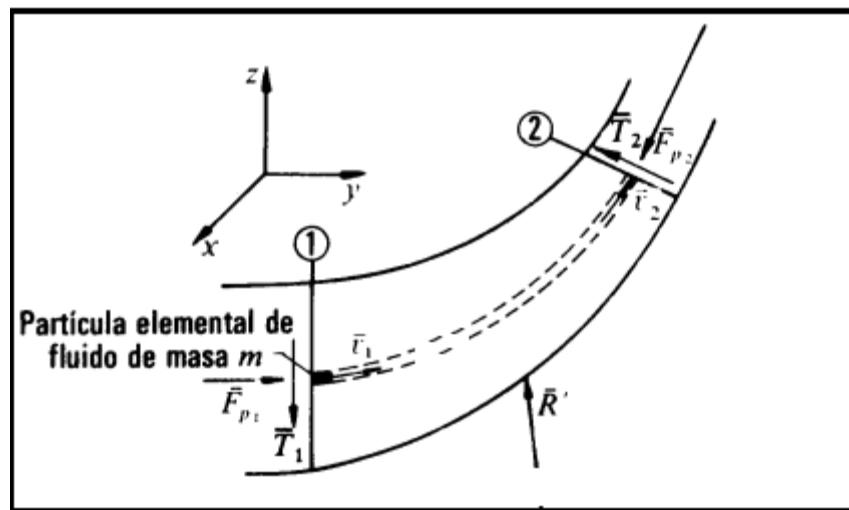
$$\dot{W}_f = \frac{2\pi n}{60} T_f \quad \text{Ecuación 5}$$

## 2.5 Ecuación de Euler para turbomáquinas

La ecuación de Euler establece una relación entre la energía cinética del fluido suministrado a los alabes y su transformación en energía mecánica a la salida del eje de la turbina.

La ecuación de Euler para turbina establece un segmento de control delimitado por las secciones 1 y 2 normales a la corriente de flujo que pasa a través de un alabe (Ver ilustración 3), en este segmento el fluido tiene un comportamiento de fluido ideal incompresible y estacionario, además se establece que las líneas de corriente del flujo sufren la misma desviación al paso por el alabe (teoría unidimensional o de alabes infinitos).

Ilustración 3. Teoría de la cantidad de movimiento hidráulico



(Mataix, 2007)

La ecuación de Euler para turbinas establece que la fuerza que experimenta el alabe será igual al cambio de la cantidad de movimiento entre la sección de control 1 y 2 de la Ilustración 3.

$$\vec{F} = \rho Q (\vec{v}_1 - \vec{v}_2)$$

El paso de agua a través de los alabes produce una rotación en el rodete  $n$ , la cual tendrá una velocidad tangencial  $u$  la suma la velocidad  $\vec{u}$  y  $\vec{v}$  será igual a la velocidad absoluta del flujo de agua a través del alabe  $\vec{c}$ .

$$\vec{F} = \rho Q (\vec{c}_1 - \vec{c}_2)$$

El momento que imprime el fluido a la turbina respecto a su eje será igual a

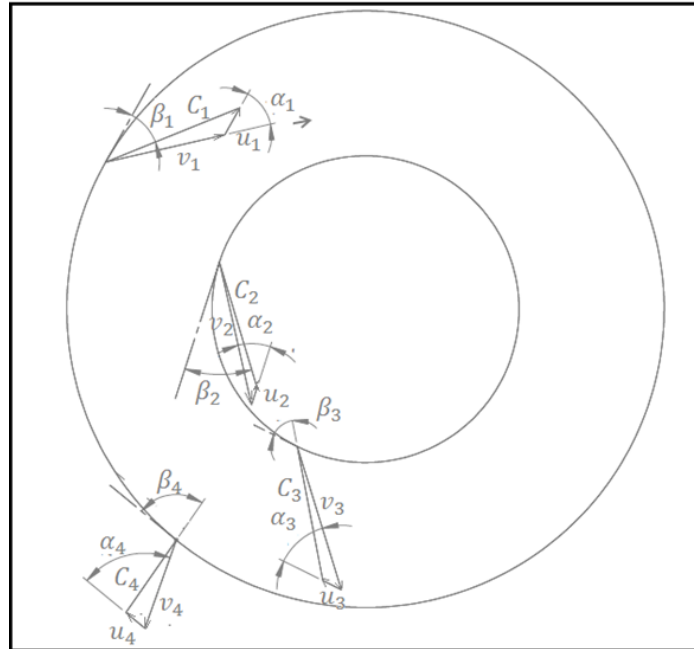
$$T_{f Euler} = \rho Q (\vec{c}_1 \times \vec{r}_1 - \vec{c}_2 \times \vec{r}_2)$$

$$T_{f Euler} = \rho Q ((r_1 c_1 \cos \beta_1 - r_2 c_2 \cos \beta_2))$$

Donde  $r_1$  y  $r_2$  son los radio medido desde el eje hasta la sección de control 1 y 2 respectivamente.

Para una turbina de flujo cruzado (ver Ilustración 4) la ecuación anterior puede escribirse como se muestra en la siguiente ecuación.

**Ilustración 4. Diagrama de velocidades de la turbina Michell-Banki de flujo cruzado.**



$$T_{f Euler} = \rho Q [(r_1 c_1 \cos \beta_1 - r_2 c_2 \cos \beta_2) + (r_3 c_3 \cos \beta_3 - r_4 c_4 \cos \beta_4)]$$

Donde  $v_i = \psi C_{i-1}$ , para  $i = 2, 3$  y  $4$ . El coeficiente de pérdidas en los alabes  $\psi$ , tiene un valor aproximado de 0.98 (Mockmore, 1949)

La potencia al freno empleando la ecuación de Euler se calcula entonces como el producto de  $T_{ft}$  y  $n$  como se observa en la ecuación 7. (Lewitt, 1958).

$$\dot{W}_{f Euler} = \rho Q \frac{2\pi n}{60} [(r_1 c_1 \cos \beta_1 - r_2 c_2 \cos \beta_2) + (r_3 c_3 \cos \beta_3 - r_4 c_4 \cos \beta_4)] \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde

$\beta_1$ : Angulo del alabe respecto a la tangente a la entrada en la primera etapa.

$\beta_2$ : Angulo del alabe respecto a la tangente a la salida en la primera etapa.

$\beta_3$ : Angulo del alabe respecto a la tangente a la entrada en la segunda etapa.

$\beta_4$ : Angulo del alabe respecto a la tangente a la salida en la segunda etapa.

## 2.6 Cálculo de la eficiencia

La eficiencia hidráulica en una turbina se calcula como el cociente entre la potencia al freno,  $W_f$  y la potencia hidráulica  $W_h$ , ver ecuación 8 (Mott, 1996).

$$eficiencia = \dot{W}_f / \dot{W}_h \quad \text{Ecuación 7}$$

## 2.7 Cálculo del número específico de revoluciones

El rango de trabajo de las turbinas se determina con el número específico de revoluciones  $N_s$ , el cual se calcula como se muestra en la ecuación 10, (Peláez, Estudio del funcionamiento y propuesta de rediseño de un prototipo de picoturbina Michell-Banki, 2012).

$$N_s = \frac{n (\dot{W}_f)^{1/2}}{H^{5/4}} [RPM \times CV^{1/2} / m^{5/4}] \quad \text{Ecuación 8}$$

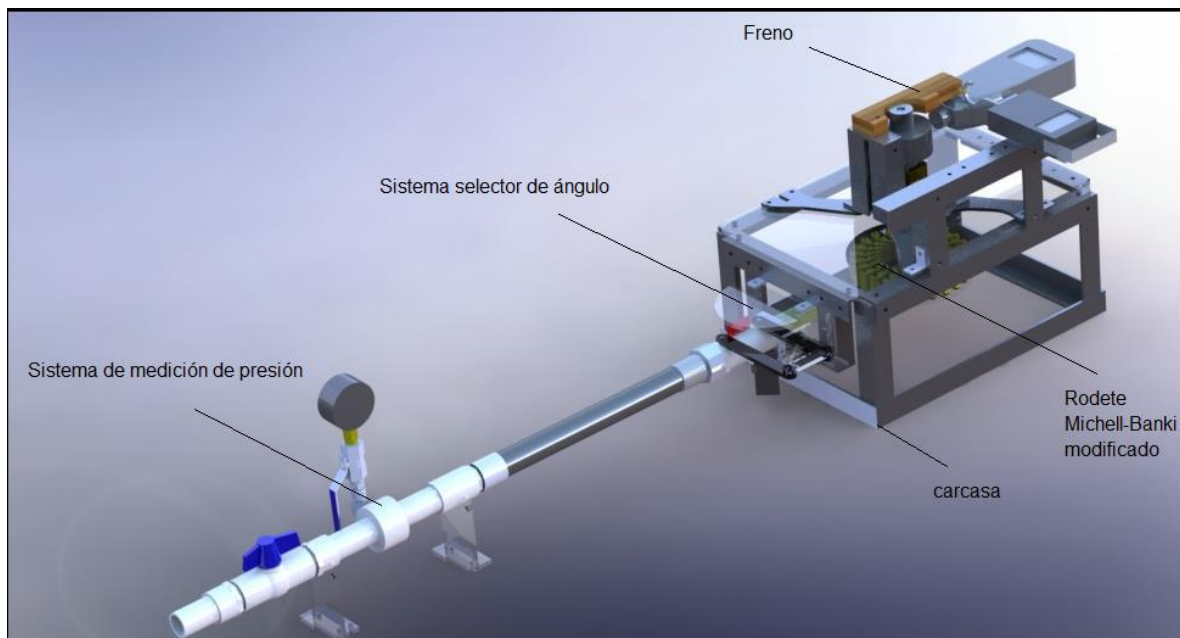
### 3 CONSTRUCCION Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS

En esta sección se describen el diseño, las modificaciones y la construcción del sistema de pruebas para la turbina modificada tipo Michell-Banki, Ver anexo 1 “Planos de la turbina modificada tipo Michell-Banki”.

Se identifican las siguientes partes en el montaje (Ver Ilustración 5):

- Inyector,
- Sistema de medición de presión,
- Sistema selector de ángulo,
- Sistema de regulación, freno y carcasa.

Ilustración 5. Banco de pruebas de la turbina Michell-Banki.



#### 3.1 Modificaciones

Para la construcción de la turbina se partió del rodete construido por el señor Paris en su proyecto de grado, al cual se le realizaron una serie de modificaciones.

##### 3.1.1 Modificación del alto de los alabes.

La altura total de los alabes fue modificada adicionando un segmentos de alabe de 3 mm, empleando los planos construidos por el señor parís en su trabajo, los cuales brindan una holgura al chorro libre de agua que impactaba contra ellos de manera que el chorro evitara chocar contra los discos superior e inferior del rodete (ver Ilustración 6).

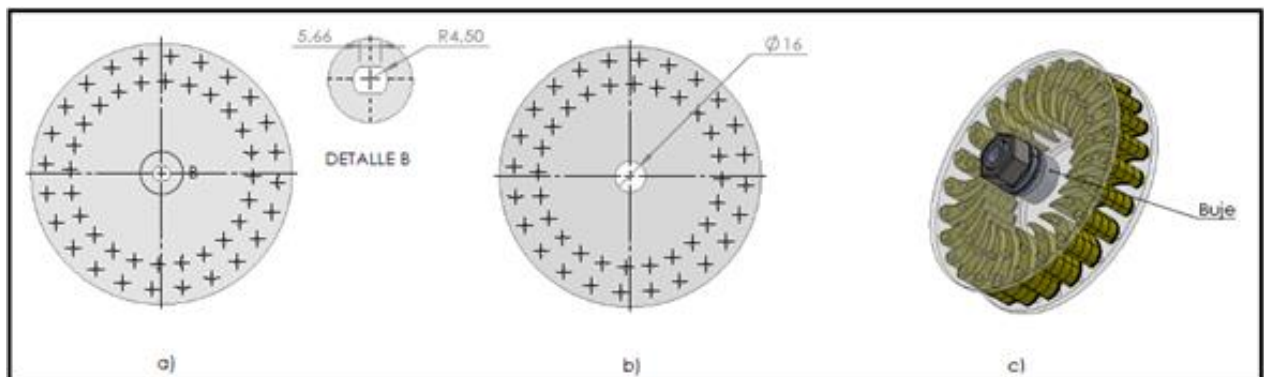
**Ilustración 6. Modificación hecha al rodete.**



### **3.1.2 Modificación en la tapa superior del rodete.**

El diseño inicial de esta pieza tenía una sección rectangular redondeada (ver Ilustración 7-a), la cual se ajustaba a tope en la sección en la que el eje pasaba de tener un área transversal con la geometría del agujero de la tapa superior del rodete a una sección circular y se fijaba a lo largo del eje con un pin candado, el inconveniente de este montaje era la poca área de contacto que existía entre la tapa superior y el eje, lo cual podía llevarlo a descabalamiento y generación de micro fracturas en la periferia del agujero, la modificación consistió en cambiar la geometría del agujero de la tapa superior (ver Ilustración 7-b), y fabricar un buje (ver Ilustración 7-c), el cual se unía a la tapa superior con una rosca y una arandela de presión, este montaje podía fijarse al eje mediante un pin candado el cual se instalaba en un agujero roscado en el buje, el cual se presionaba contra el eje de la turbina.

**Ilustración 7. Modificación de la tapa superior del rodete**



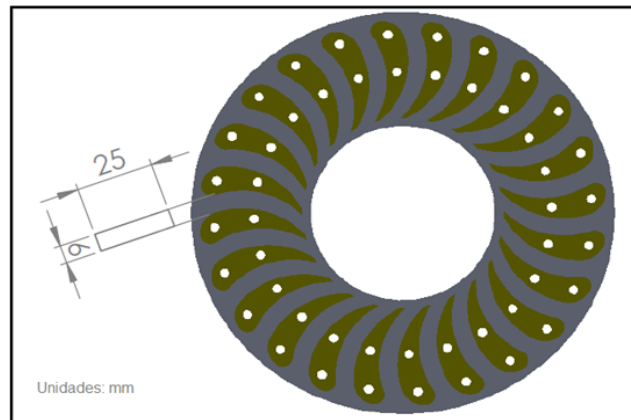
## **3.2 Diseño del inyector**

El inyector empleado en la turbinas Michell-Banki normalmente emplea una transición de una sección circular a una rectangular mediante un tobera metálica y una válvula que regula y acelera el flujo que se dirige al rodete en la zona de área transversal rectangular. En el diseño empleado en este trabajo se utilizó una boquilla fija sin opciones de regulación de caudal mediante una válvula a la salida de la de la boquilla. Para el inyector no se encontró un modelo comercial que brindara un chorro de

trayectoria homogénea con las características geométricas requeridas ni a un precio viable por lo que se optó por la fabricación del inyector.

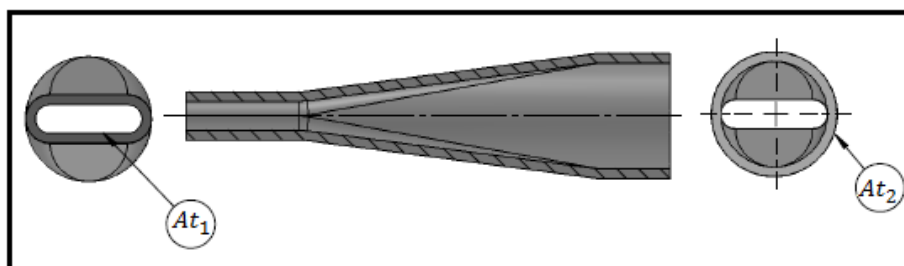
En el diseño del inyector las dimensiones se restringieron por el diámetro de tubería a la entrada del inyector y por la geometría del canal formado entre dos alabes consecutivos (ver Ilustración 8).

**Ilustración 8. Área transversal del canal entre alabes**



La selección del diámetro la tubería se hizo con base en la altura del canal formado por los alabes por lo que se selecciona una tubería de PVC RDE 11 de 3/4 la cual cuenta con un diámetro interno de 21,81mm (PAVCO, 2014); así que se obtiene una transición de una sección de área transversal circular  $A_{t1}$ , a un rectangular redondeada  $A_{t2}$  (ver Ilustración 9).

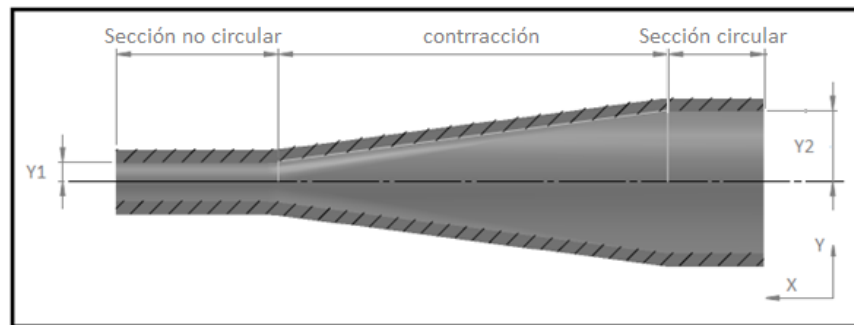
**Ilustración 9. Área transversal a la entrada y salida del inyector.**



La transición de la sección circular a la sección rectangular redondeada del inyector se hizo mediante una contracción gradual debida a que las pérdidas son menores que las generadas con una contracción súbita, la contracción solo se realizó en el eje Y del inyector (ver Ilustración 10).

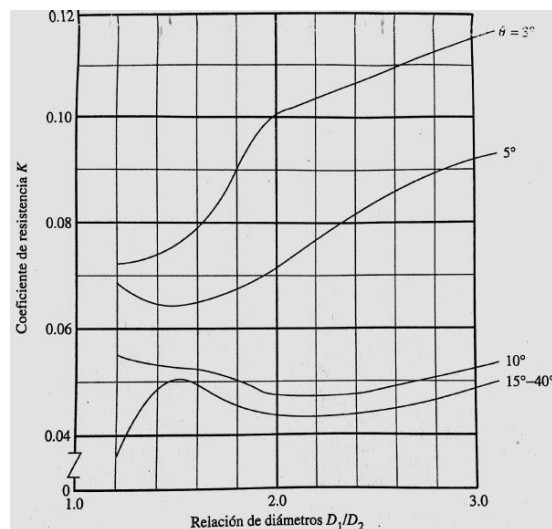


**Ilustración 10. Contracción gradual en el inyector.**



El ángulo del cono formado por la contracción es de  $15^\circ$ , este valor se eligió porque es el mínimo ángulo con el que se producen la menor cantidad de pérdidas en una contracción gradual cónica, para una proporción de diámetros  $D_1/D_2$  en un intervalo de 1 a 3 (ver Ilustración 11); para la sección no circular se empleó como  $D_2$  el diámetro hidráulico. (Mott, 1996).

**Ilustración 11. Coeficiente de resistencia – contracción gradual**



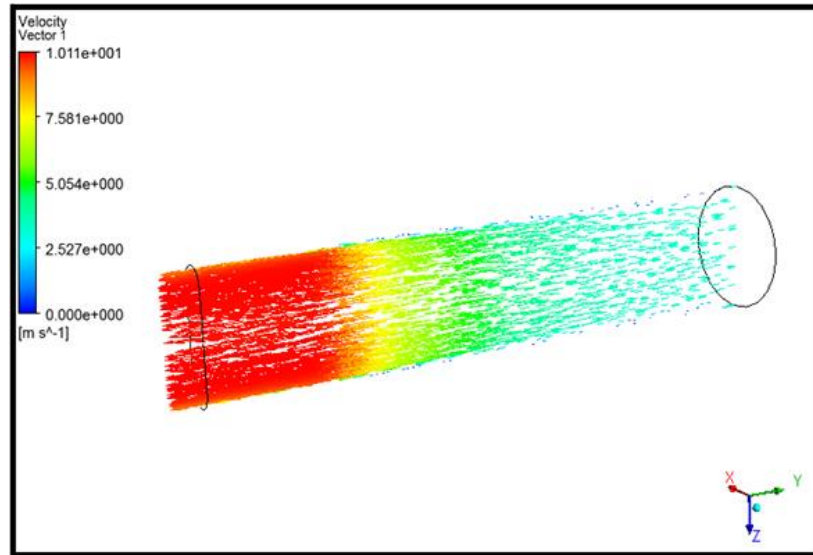
(Mott, 1996)

Las aristas vivas en el inyector se redondearon con un radio de 12,7 mm, debido a que esto evita que las líneas de corriente en el fluido tengan cambios bruscos en su trayectoria, lo que disminuye la turbulencia y arremolinamientos. (Mott, 1996)

La validación de la geometría de la boquilla se realizó mediante una simulación de fluidos con el módulo Fluid Flow (CFX) del programa ANSYS edición estudiantil, emperando una mallado de elemento tipo triangulo con 12541 nodos y 61999 elementos en la que se comparó la velocidad de salida simulada (Ver Ilustración 12),

con la velocidad de salida teórica del inyector para una cabeza bruta de 5m. Obteniendo un error del 2%.

**Ilustración 12. Velocidad de salida del inyector para H=5m.**



### 3.3 Fabricación del inyector

El inyector se fabricó con un molde macho el cual se recubrió con resina reforzada con fibra de vidrio. El molde del inyector se fabricó en la fresadora CNC del taller de máquinas y herramientas de la universidad EAFIT (ver Ilustración 13).

**Ilustración 13. Fresadora CNC de la Universidad EAFIT**



El molde se fabricó en nylon debido a que es un material de bajo costo, fácil maquinado y presenta buena resistencia al desgaste, resistencia mecánica y química, lo que prolonga la vida útil del molde (ver Ilustración 14).

**Ilustración 14. Molde en nylon del inyector**



La fabricación del inyector se realizó en fibra de Vidrio mediante el método de infusión con bolsa de vacío, en este método el molde de nylon se recubre con MAT de 100 x 70 mm, este se introdujo en una bolsa plástica a la que se le sellaron los extremos; de un extremo de la bolsa se conectó una bomba de vacío y del otro extremo un embudo (ver Ilustración 15-a), por el cual se vertió la resina de poliéster isoftálica, que al activar la bomba de vacío impregno la fibra de vidrio ( Ilustración 15-b y 15-c), calcando la forma del molde y su acabado superficial (Ver Ilustración 16).

**Ilustración 15. Método de conformado por infusión con bolsa de vacío**

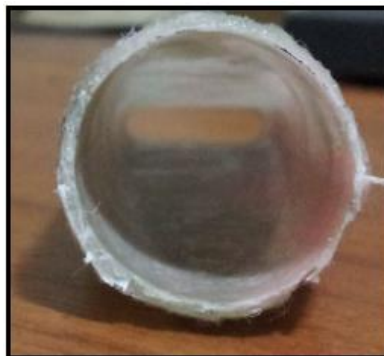


a) Montaje del molde

b) Recubrimiento de MAT

c) Bomba de vacío

**Ilustración 16. Superficie interna del inyector.**



### 3.4 Sistema de medición de presión

El sistema de medición de presión consta de un tramo en tubería RDE 11 de 3/4 de PVC de 176 mm largo, la cual cuenta en su zona media con una toma de presión lateral (ver anexo 1), la cual se fabricó bajo la norma ISO/DIS 2540 "*Pumps-code for acceptance test-class C*", a la que se le rosco un manómetro de conexión lateral de 1/4 NPT con un rango de medición de 0-30 PSI (ver Ilustración 17).

Ilustración 17. Sistema de medición de presión.

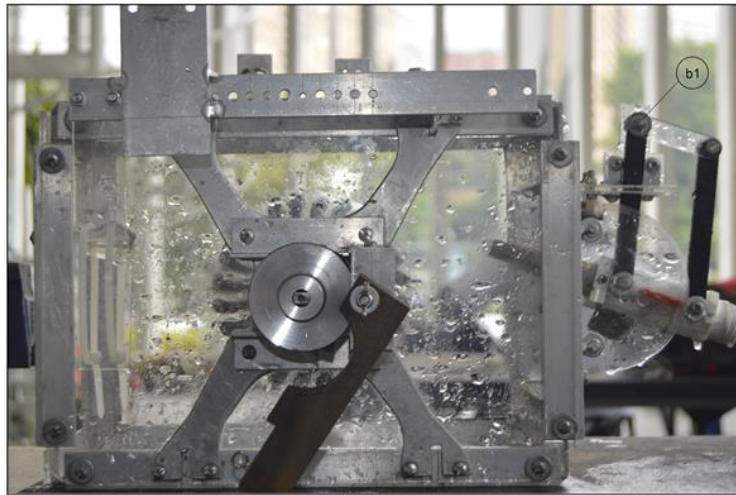


El inyector y el sistema de medición de presión se une mediante una manguera multipropósito de Caucho de 3/4 de diámetro con terminales macho-hembra NPT de 30 cm y una presión máxima de trabajo de 200 PSI.

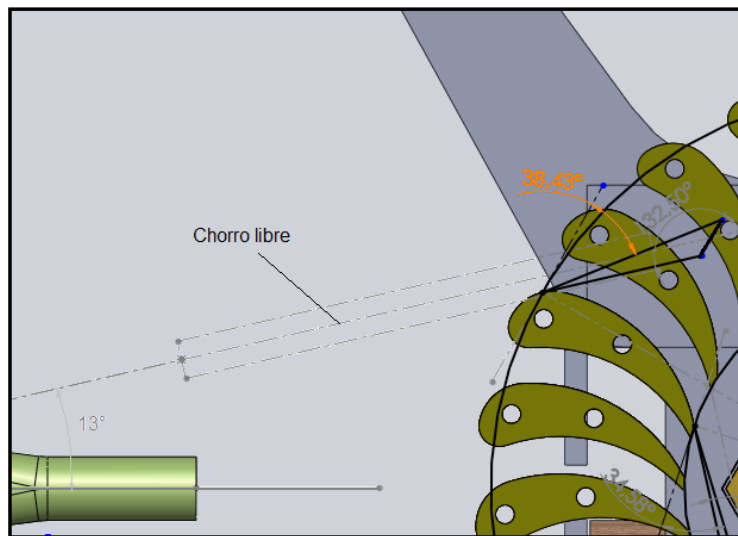
### 3.5 Sistema selector de ángulo

El sistema selector de ángulo se compone de una escuadra de acrílico de 4 mm ubicada por encima de la boquilla anclada a los soportes de la turbina, un pivote de aluminio y unas barras guías fabricadas en acrílico de 4 mm de espesor (ver Ilustración 18), al accionar la barra b1 se puede modificar y fijar el ángulo con el que el chorro de agua ingresa al rodete. El ángulo óptimo de operación se obtiene en la prueba medición del ángulo de operación. (Ver Ilustración 19)

**Ilustración 18. Sistema selector de ángulos.**



**Ilustración 19. Ángulo óptimo de operación.**

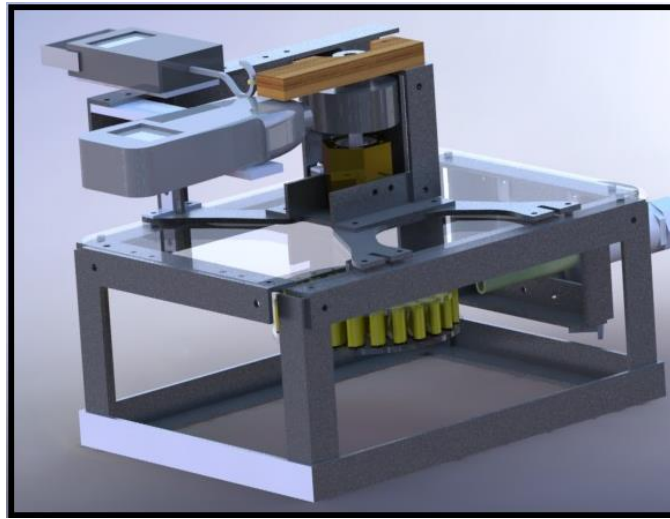


### **3.6 Carcasa**

Los soportes de la turbina se fabricaron principalmente con perfilaría de aluminio de 1"x 1" y 9/64" de espesor y las cubiertas se fabricaron con láminas de acrílico transparente de 4 mm de espesor (ver anexo 1), las cuales se recortaron en la cortadora laser del Laboratorio de mecatrónica y mecánica experimental de la universidad EAFIT, con la finalidad de observar la interacción del fluido con la turbina con facilidad (ver Ilustración 20).



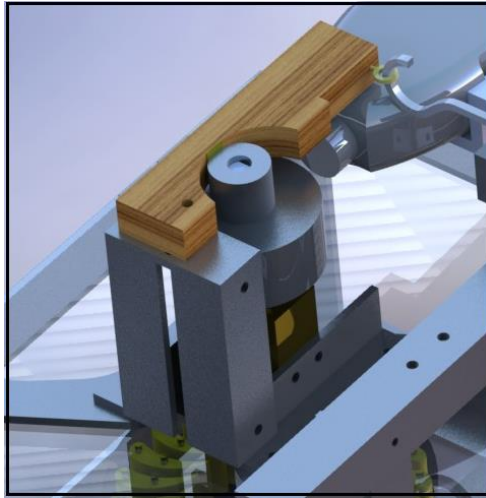
**Ilustración 20. Estructura de la turbina**



### **3.7 Sistema de frenado**

El freno es el elemento encargado en este montaje de aplicar una carga que termina frenando el eje del rodete el cual es y de esta manera calcular el torque al frenado, este dispositivo está compuesto por un brazo de madera con una zapata de cobre pivotado en un extremo y conectado en el otro de un dinamómetro, cuando se ejerce una fuerza tensión sobre el dinamómetro la zapata del freno entra en contacto con el eje de aluminio de la turbina y ejerce un torque de frenado sobre el eje de la turbina (ver Ilustración 21).

**Ilustración 21. Sistema de freno**



### **3.8 Sistema de regulación**

El suministro de agua se obtuvo de una derivación del anillo hidráulico del laboratorio de hidráulica de la universidad EAFIT, del cual conectó una reducción metálica de 1" a 3/4" a la que se le conectó una válvula de compuerta de bronce de 3/4" con la que se regula el caudal de entrada a la turbina, esta última se unió con una manguera al sistema de medición de presión (Ver Ilustración 22).

**Ilustración 22. Sistema de regulación**



## 4 PLAN DE PRUEBAS

En este capítulo se describe la metodología empleada para la elaboración de las pruebas de la turbina Michell-Banki modificada en el laboratorio de hidráulica de la universidad EAFIT.

### 4.1 Variables

Las variables que se midieron en estas pruebas son cinco:

- tiempo,
- RPM,
- peso,
- carga al frenado y
- Presión,

Estas variables se midieron con la instrumentación que se indica en la tabla 3

Tabla 3. Instrumentación

Instrumento	Rango
Tacómetro digital	0-999.99 RPM
Dinamómetro electrónico	0,1-50 kg
Manómetro	0-30 PSI
Bascula digital	0-999,9 Kg
Transportador	0-180°

### 4.2 Pruebas

En este trabajo se efectuaron cuatro pruebas de laboratorio: medición de caudal, medición del coeficiente de velocidad, medición del ángulo de óptima operación y medición de las RPM a diferentes cargas de frenado.

#### 4.2.1 Determinación de caudal.

En esta prueba se midió para cuatro valores de presión, la cantidad de agua en peso que salía de la manguera del sistema de medición de presión durante un intervalo de tiempo.

Para pesar el agua se utilizó un balde el cual era llenado y pesado en la báscula digital, el tiempo que tardaba el llenando se midió con el cronometro.

#### 4.2.2 Determinación del coeficiente de velocidad.

En esta prueba se midió para un valor de presión la cantidad de agua en peso que salía de la manguera del sistema de medición de presión durante un intervalo de



tiempo en dos montajes diferentes, el primero se instala a la salida de la manguera un inyector y en el segundo caso no se instala el inyector.

La medición del peso del agua y el tiempo de llenado se efectuaron de la misma manera que en la anterior prueba.

#### 4.2.3 Medición del ángulo de operación.

En esta prueba se seleccionaron nueve ángulos para los cuales la turbina trabaja en vacío(sin carga), al variar el ángulo se modificaba la orientación de la boquilla en el sistema selector de ángulo lo cual repercute en la velocidad angular a la que el rodete gira, velocidad que se midió con un tacómetro digital.

#### 4.2.4 Determinación de la potencia al frenado.

En esta prueba se midió para 4 valores de presión las RPM para diferentes cargas de tensión aplicadas al sistema de frenado, para cada carga se registró el valor de las RPM medidas en el eje del rodete.

La fuerza de tensión se midió con el dinamómetro digital, el cual tenía un extremo conectado al sistema de frenado y del otro extremo se ejercía la carga de tensión; las RPM se midieron con el tacómetro digital.

## 5 PRUEBAS DE LABORATORIO

En esta sección se muestran las tablas construidas a partir de la información recopilada al realizar cuatro pruebas de laboratorio descritas en la sección 9.

Para la prueba de cálculo de caudal se construyó la siguiente tabla a partir de las variables: tiempo y peso, medida en la prueba. (Ver tabla 4), el volumen se define a asumir que la densidad del agua era igual a  $1 \text{ Kg/L}$ .

**Tabla 4. Valores para el cálculo de caudales**

P(PSI)	7				5				4				3			
t(s)	4.67	4.14	5.01	6.04	7.25	7.47	6.52	7.28	7.3	8.26	8.06	9.02	7.30	8.26	8.06	9.02
w (Kg)	5.95	5.10	6.30	7.40	7.40	7.60	6.70	7.60	7	7.8	7.4	8.45	7.00	7.80	7.40	8.45
L	5.95	5.10	6.30	7.40	7.40	7.60	6.70	7.60	7	7.8	7.4	8.45	7.00	7.80	7.40	8.45

En la prueba del cálculo del coeficiente de velocidad se midió las variables peso y tiempo para una presión de 7 PSI a partir de los cuales se pudo calcular el coeficiente de velocidad del chorro de agua a la salida de la boquilla, con los valores obtenidos se construyó la tabla 5.

**Tabla 5. Valores para el cálculo del coeficiente de velocidad**

Caso	Caudal sin la boquilla				Caudal con la boquilla			
w (Kg)	10.73	9.79	6.99	10.67	12.05	8.28	9.11	7.92
V(L)	10.73	9.79	6.99	10.67	12.05	8.28	9.11	7.92
t(s)	8.67	7.94	5.62	8.64	9.95	6.83	7.49	6.52

La prueba en la que se midió el ángulo de óptima operación, se eligió el valor del ángulo con el que se obtenían la mayor cantidad de RPM, tomando 10 muestras de RPM por cada ángulo barrido, el ángulo al cual se obtuvo la mayor RPM se muestra en la tabla 6. Medición del ángulo de óptima operación.

**Tabla 6. Medición del ángulo de óptima operación.**

Angulo (°)	RPM										$\overline{RPM}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	449.31	449.37	449.64	449.24	448.20	449.50	450.35	449.31	450.29	450.94	449.62
8	511.89	511.04	512.28	511.76	511.56	511.11	511.82	511.37	512.02	511.95	511.68
10	553.50	554.54	553.82	552.91	552.33	553.17	552.98	553.24	552.85	555.32	553.46
11	563.85	561.90	561.83	563.26	563.59	564.44	562.42	564.18	561.18	562.29	562.89
12	577.33	578.63	576.74	576.61	577.92	576.03	576.03	577.92	580.33	579.28	577.68
<b>13</b>	<b>579.90</b>	<b>581.40</b>	<b>582.28</b>	<b>580.98</b>	<b>581.63</b>	<b>583.58</b>	<b>583.84</b>	<b>584.95</b>	<b>584.88</b>	<b>584.43</b>	<b>582.79</b>
14	568.73	568.54	568.34	570.82	569.78	570.82	569.13	571.27	569.13	569.06	569.56
15	545.16	546.01	545.49	546.01	546.01	545.42	549.33	547.51	546.20	551.54	546.87

En la prueba para el cálculo de la potencia al freno se midió los valores de la carga de tensión aplicada al sistema de freno y la velocidad angular que registraba el eje de la turbina, tomando 5 muestras valores de RPM para cada valor de carga G. Los valores obtenidos se anotaron en la tabla 7.

Tabla 7. Valores para cálculo de la potencia al frenado.

#	n(RPM)					$\bar{n}(RPM)$	G(Kg)	G(N)
7 PSI								
1	65.5	71.6	70.4	66.1	65.6	67.84	8.2	80.442
2	178.5	182.7	176.8	179.3	185.4	180.54	7.6	74.556
3	285.6	283.2	257.1	287.5	289	280.48	7	68.67
4	346.2	350	346.9	340.8	339.6	344.7	6	58.86
5	402.5	418.8	416.1	406	409.3	410.54	5	49.05
6	432.6	430.6	435.7	431.2	433.2	432.66	4	39.24
7	482.2	478.5	482.9	478.4	478.9	480.18	3	29.43
8	516.5	515.4	515.4	520.2	515	516.5	2	19.62
9	542.4	549.1	548.3	557.5	553.2	550.1	1	9.81
10	582.2	581.8	581.5	581.6	581.5	581.72	0	0
6 PSI								
1	86.2	73.4	78.6	80.5	75	78.74	7.4	72.594
2	136	160.5	176.1	151.6	163.85	157.61	7	68.67
3	243.2	243.4	238.2	257	239.6	244.28	6	58.86
4	315.2	320.4	320.4	319.9	321.9	319.56	5	49.05
5	369.2	370.3	366.9	376.6	378.4	372.28	4	39.24
6	417.7	409	414.6	415.6	414	414.18	3	29.43
7	448.5	451.2	447.9	448.6	449.1	449.06	2	19.62
8	500	504.7	501.8	503.2	499.7	501.88	1	9.81
9	541.6	540.8	541.7	540.8	541.2	541.22	0	0
4 PSI								
1	64.3	75.7	66.4	65.9	64.3	67.32	6	58.86
2	156.4	158.4	156.8	156	158.4	157.2	5	49.05
3	246.5	246.2	241	249.1	257.9	248.14	4.6	45.126
4	307.9	311.3	312.2	301.6	311.8	308.96	4	39.24
5	352.2	353.1	352.8	354.1	353.7	353.18	3	29.43
6	398.9	407.3	396.4	397.8	396.7	399.42	2	19.62
7	433.6	433.3	438	434.5	433.5	434.58	1	9.81
8	475.9	476.1	475.5	475.4	475.7	475.72	0	0
3 PSI								
1	56.4	48.9	51.7	51.8	54.9	52.74	4.4	43.164
2	144.6	141.7	146.5	128	142	140.56	4	39.24
3	178.9	163.4	167.5	170.1	164.7	168.92	3.6	35.316
4	255	245.6	265	250.6	240.4	251.32	3	29.43
5	287.6	292	289.6	281.8	296.4	289.48	2	19.62
6	331.6	337	338	337.9	335.4	335.98	1	9.81
7	361.2	360.8	359.8	360.3	362.2	360.86	0	0

## 6 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

En esta sección se calculan a partir de los valores medidos en las pruebas de laboratorio las variables:

- cabeza hidráulica neta,
- caudal neto,
- coeficiente de velocidad del chorro de agua a la salida de la boquilla,
- torque al freno,
- potencia hidráulica,
- potencia al freno,
- eficiencia hidráulica y
- numero específico de revoluciones.

## 6.1 Cálculo del caudal

Para el cálculo del caudal se empleó la ecuación 1 utilizando los datos de la tabla 4, en los que para cada valor de presión se promediaron los valores de caudal calculados, ver tabla 8.

**Tabla 8. Cálculo de caudales.**

$P(PSI)$	7				5				4				3			
$Q_b(L/min)$	76.45	73.91	75.45	73.51	61.24	61.04	61.66	62.64	57.53	56.66	55.09	56.21	57.53	56.66	55.09	56.21
$\bar{Q}_b(L/min)$	74.829				61.645				56.372				49.139			
$\bar{Q}_b(m^3/s)$	1.247E-03				1.027E-03				9.395E-4				8.189E-4			

## 6.2 Cálculo del coeficiente de velocidad

El cálculo del coeficiente de velocidad por pérdidas a la salida de la boquilla se calcula a partir de los datos de la tabla 5, empleando la ecuación 1 se calculó la velocidad de salida  $V$  para los dos casos; Para el caso en que no se tenía inyector se supuso un área de salida sin pérdidas y de sección trasversal  $At_1$ , utilizando la ecuación 4 se halla el valor de  $k$  (ver tabla 9).

**Tabla 9. Cálculo del coeficiente de velocidad.**

Caso	Caudal sin la boquilla				Caudal con la boquilla			
$Q(m^3/s)$	1.237E-03	1.233E-03	1.243E-03	1.235E-03	1.211E-03	1.213E-03	1.217E-03	1.214E-03
$\bar{Q}_b(m^3/s)$	1.237E-03				1.213E-03			
$K$	0.981							

### 6.3 Cálculo caudal y cabeza neta

Una vez se obtiene el valor de  $k$  se puede determinar los caudales netos  $Q_n$ . Y las cabezas neta  $H_n$ . Aplicando la ecuación 1 se obtiene  $V$  a partir de los valores de caudal promedio bruto y  $At_1$ , con la ecuación 4 se calcula la velocidad a la salida del inyector  $v$ , con la ecuación 1 se obtiene  $Q_n$  al conocer el valor de  $v$  y con la ecuación 3 se obtiene  $H_n$  (ver tabla 10).

Tabla 10. Cálculo de caudal y cabeza neta.

Variable	Valor			
PSI	7	5	4	3
$Q(L/min)$	74.829	61.645	56.372	49.139
$Q(m^3/s)$	0.001	0.001	0.001	0.001
$V(m/s)$	10.036	8.268	7.560	6.590
$V * K(m/s)$	9.835	8.102	7.409	6.459
$H_n(m)$	4.930	3.346	2.798	2.126
$Q_n(m^3/s)$	1.222E-03	1.007E-03	9.207E-04	8.026E-04

### 6.4 Calculo de la potencia hidráulica

La potencia hidráulica se calculó para todos los valores de  $H_n$  y  $Q_n$  de la tabla 10, con la ecuación 2, obteniendo los valores de la tabla 11.

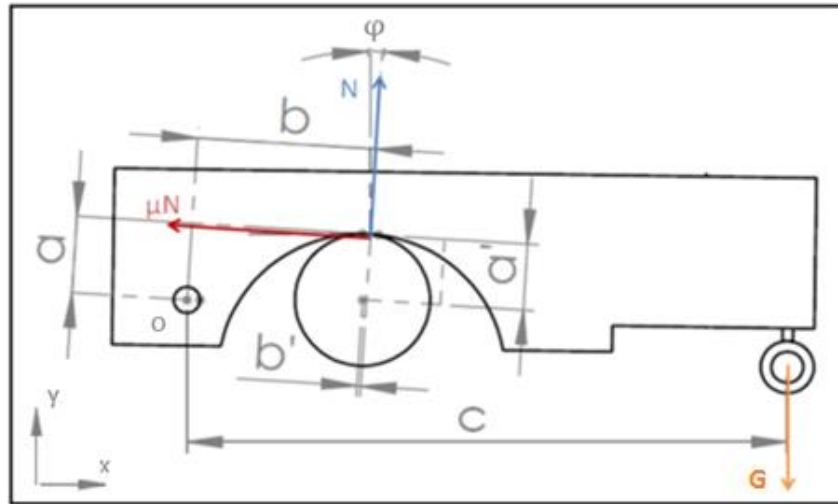
Tabla 11. Calculo de la potencia hidráulica para cuatro cabezas hidráulicas.

Variable	Variable			
$H_n(m)$	4.93	3.346	2.798	2.126
$Q_n(m^3/s)$	1.22E-03	1.01E-03	9.21E-04	8.03E-04
$W_h(W)$	58.935	32.949	25.197	16.689

### 6.5 Cálculo del torque al freno

El torque al freno es una manera de medir el torque disponible a la salida del eje de la turbina. Los valores del torque al frenado se calcularon a partir de la ecuación 12, al plantear el diagrama de cuerpo libre del freno (Ilustración 23) y resolver el sistema de ecuaciones (ecuación 9, 10 y 11).

**Ilustración 23. Diagrama de cuerpo libre de la turbina Michell-Banki modificada**



Los valores de las variables de la Ilustración se encuentran en la tabla 12.

**Tabla 12. Asignación de valores al diagrama de cuerpo libre de la turbina Michell-Banki modificada**

Variable	Valor
a(mm)	14.777
a'(mm)	12.695
b(mm)	33.631
b'(mm)	0.697
c(mm)	112.824
φ(°)	3.167

A partir del diagrama de cuerpo libre se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\sum M_o = 0 = \mu Na + Nb - Gc \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\sum F_y = 0 = N \cos \varphi + \mu N \sin \varphi - F \cos \varphi - G \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\sum F_x = 0 = N \sin \varphi - \mu N \cos \varphi - F \sin \varphi \quad \text{Ecuación 11}$$

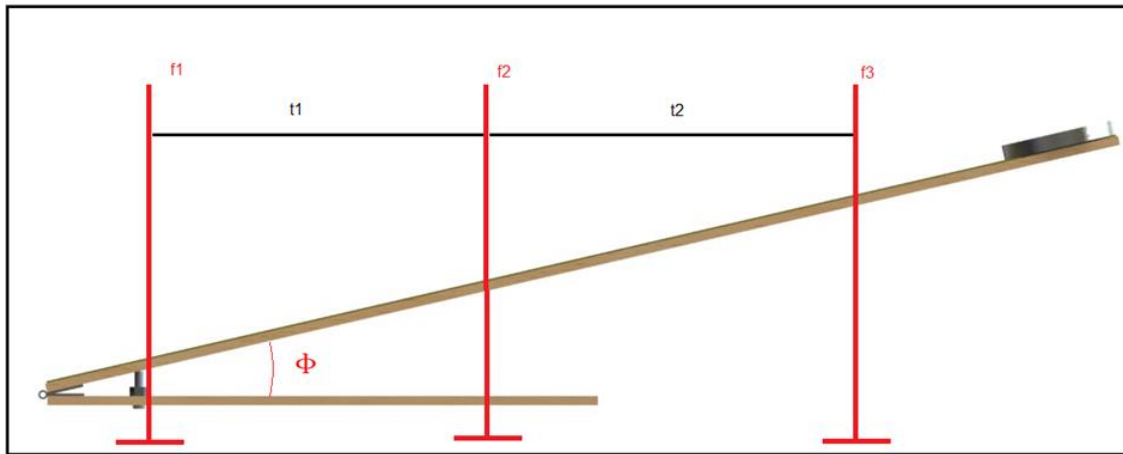
Resolviendo el sistema de ecuaciones podemos obtener el valor de N con el cual se determina el  $T_f$  en el eje.

$$T_f = \mu Na' + Nb' \quad \text{Ecuación 12}$$

### 6.5.1 Coeficiente de fricción cinético

El coeficiente de fricción cinético  $\mu$ , entre la zapata de freno se calculó empleando un plano inclinado de 60 cm recubierto de una laminilla de cobre del mismo material de la zapata del freno, sobre la cual se ponía un disco de aluminio del material del cilindro contra el cual la zapata hace contacto y se ajustaba el ángulo de inclinación  $\phi$ , hasta obtener un desplazamiento del disco a velocidad constante (Ilustración 24).

Ilustración 24 Procedimiento de aproximaciones sucesivas para la medida del ángulo.



Para establecer si la velocidad es constante se utilizaron tres fotoceldas del laboratorio de física experimental de la universidad EAFIT (f1, f2 y f3), igualmente espaciadas lo largo del plano inclinado, las cuales activan dos cronómetros, el primer cronómetro se activa al paso del disco por f1 y se desactiva al pasar por f2, el segundo cronómetro se activa al paso del disco por f2 y se desactiva al pasar por f3; el tiempo registrado por el primer cronómetro t1, se compara con el tiempo del segundo cronómetro t2, cuando se alcanza un ángulo para el cual los dos tiempos son muy similares se dice que el disco se desplaza a velocidad constante (ver tabla 13), Bajo estas condiciones el coeficiente de fricción cinética se calcula como se observa en la siguiente ecuación. (Franco Garcia, 2010).

$$\mu = \tan \phi$$

Tabla 13. Coeficiente de fricción cinético

Variable	Valor						Promedio
$\phi(^{\circ})$	13	13	13	13	13	13	13
t1 (s)	1.5029	1.6667	1.6356	1.5311	1.5360	1.5744	1.5745
t2 (s)	1.4885	1.6492	1.6293	1.5513	1.5007	1.5752	1.5657
t1-t2(s)	0.0144	0.0175	0.0063	0.0202	0.0353	0.0008	0.0088
$\mu$	0.2309						

Los diferentes valores del torque de frenado se calcular con la ecuación 9 a partir de los valores de la carga de frenado de la tabla 7 para cada valor de cabeza neta, ver tabla 14.

## 6.6 Cálculo de la potencia al freno

La potencia al freno se calculó empleando los valores del torque al freno y sus correspondientes valores de RPM de la tabla 7, para cada cabeza neta empleando la ecuación 5 (ver tabla 14).

**Tabla 14. Calculo de la potencia al freno para cuatro cabezas hidráulicas**

$F(N)$	$n(RPM)$	$T_f(Nm)$	$W_f(W)$	$F(N)$	$n(RPM)$	$T_f(Nm)$	$W_f(W)$
H=4,93				H=3,34			
80.442	67.84	0.889	6.313	72.594	78.74	0.8	6.5964
74.556	180.54	0.822	15.533	68.67	157.61	0.757	12.49
68.67	280.48	0.757	22.227	58.86	244.28	0.649	16.593
58.86	344.7	0.649	23.414	49.05	319.56	0.541	18.088
49.05	410.54	0.541	23.238	39.24	372.28	0.432	16.858
39.24	432.66	0.432	19.592	29.43	414.18	0.324	14.067
29.43	480.18	0.324	16.308	19.62	449.06	0.216	10.167
19.62	516.5	0.216	11.694	9.81	501.88	0.108	5.6817
9.81	550.1	0.108	6.228	0	541.22	0	0
0	581.72	0	0				
H=2,79				H=2,12			
58.86	67.32	0.649	4.5727	0.476	52.74	2.627	2.627
49.05	157.2	0.541	8.8982	0.432	140.56	6.365	6.365
45.126	248.14	0.497	12.922	0.389	168.92	6.884	6.884
39.24	308.96	0.432	13.991	0.324	251.32	8.535	8.535
29.43	353.18	0.324	11.995	0.216	289.48	6.554	6.554
19.62	399.42	0.216	9.0436	0.108	335.98	3.804	3.804
9.81	434.58	0.108	4.9198	0	360.86	0	0
0	475.72	0	0				

A partir de la curvas de potencia al freno vs RPM (grafica 24), se estableció los valores para cada cabeza neta para los cuales la potencia al freno era máxima (ver tabla 15).

**Tabla 15. Valores máximos de la potencia al freno para cuatro valores de cabeza hidráulica**

Variable	Valor			
$Hn(m)$	2.13	2.78	3.34	4.93
$n(RPM)$	227.422	286.339	304.636	347.092
$W_f \text{ max. } (W)$	8.379	13.358	17.587	23.382



## 6.7 Calculo de la potencia al freno empleando la ecuación de Euler para turbomáquinas

El cálculo de la  $w_f$  empleando la ecuación de Euler para turbomáquinas se calculó empleando a la ecuación 6, en la que para cada cabeza hidráulica se emplearon los valores de la RPM de la tabla 14, los valores de las velocidades absolutas  $c$  se calcularon a partir de la suma de  $v$ , asumiendo que  $v$  es igual a la velocidad relativa de entrada del chorro al rodete  $v_1$  y la velocidad tangencial  $w$ , a la entrada y salida del segmento de control para cada etapa de generación de la turbina. Los valores de  $r_i$ ,  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  se obtuvieron por construcción en la modelación de la turbina, los valores calculados se agruparon en la tabla 16.

Tabla 16. Calculo de la potencia al freno empleando la ecuación de Euler para cuatro cabezas hidráulicas.

Variable	Valor			
$H_n(m)$	4.930E+00	3.340E+00	2.790E+00	2.120E+00
$r1(m)$	6.265E-02	6.265E-02	6.265E-02	6.265E-02
$r2(m)$	3.220E-02	3.220E-02	3.220E-02	3.220E-02
$r3(m)$	3.220E-02	3.220E-02	3.220E-02	3.220E-02
$r4(m)$	5.980E-02	5.980E-02	5.980E-02	5.980E-02
$\alpha1(^{\circ})$	1.325E+02	1.325E+02	1.325E+02	1.325E+02
$\alpha2(^{\circ})$	3.055E+01	3.055E+01	3.055E+01	3.055E+01
$\alpha3(^{\circ})$	4.682E+01	4.652E+01	4.682E+01	4.682E+01
$\alpha4(^{\circ})$	7.007E+01	7.007E+01	7.007E+01	7.007E+01
$\beta1(^{\circ})$	3.909E+01	3.864E+01	3.843E+01	3.912E+01
$\beta2(^{\circ})$	3.449E+01	3.478E+01	3.491E+01	3.448E+01
$\beta3(^{\circ})$	5.317E+01	5.335E+01	5.375E+01	5.300E+01
$\beta4(^{\circ})$	8.519E+01	8.600E+01	8.652E+01	8.483E+01
$c1(m/s)$	1.150E+01	9.567E+00	8.788E+00	7.547E+00
$c2(m/s)$	8.650E+00	7.075E+00	6.448E+00	5.682E+00
$c3(m/s)$	7.723E+00	6.271E+00	5.830E+00	5.188E+00
$c4(m/s)$	7.838E+00	6.534E+00	5.952E+00	5.256E+00
$\dot{W}_{f Euler}(W)$	3.071E+01	1.836E+01	1.439E+01	8.664E+00

## 6.8 Calculo de la eficiencia

### 6.8.1 Eficiencia hidráulica

La eficiencia hidráulica (Tabla 17), se calculó empleando la ecuación 8 empleando los valores de potencia hidráulica para cada cabeza hidráulica de la tabla 11 y la potencia al freno de la tabla 13.

**Tabla 17. Eficiencia hidráulica.**

H=4.93 m											
$n(RPM)$	581.720	550.100	516.500	480.180	432.660	410.540	344.700	280.480	180.540	67.840	0
$W_f(W)$	0.000	6.228	11.694	16.308	19.592	23.238	23.414	22.227	15.533	6.313	0
$eficiencias$	0.000	0.106	0.198	0.277	0.332	0.394	0.397	0.377	0.264	0.107	0
H=3.34 m											
$n(RPM)$	541.220	501.880	449.060	414.180	372.280	319.560	244.280	157.610	78.740	0	N/A
$W_f(W)$	0.000	5.682	10.167	14.067	16.858	18.088	16.593	12.490	6.596	0	N/A
$eficiencias$	0.000	0.172	0.309	0.427	0.512	0.549	0.504	0.379	0.200	0	N/A
H=2.79 m											
$n(RPM)$	475.720	434.580	399.420	347.300	308.960	248.140	157.200	67.320	0	N/A	N/A
$W_f(W)$	0.000	4.920	9.044	11.795	13.991	12.922	8.898	4.573	0	N/A	N/A
$eficiencias$	0.000	0.195	0.359	0.468	0.555	0.513	0.353	0.181	0	N/A	N/A
H= 2.12 m											
$n(RPM)$	360.860	335.980	289.480	251.320	168.920	140.560	52.740	0.000	N/A	N/A	N/A
$W_f(W)$	0.000	3.804	6.554	8.535	6.884	6.365	2.627	0.000	N/A	N/A	N/A
$eficiencias$	0.000	0.228	0.393	0.511	0.413	0.381	0.157	0.000	N/A	N/A	N/A

### 6.8.2 Eficiencia hidráulica máxima

La eficiencia máxima se calculó empleando los valores de la potencia al freno de la tabla 14 y la potencia hidráulica para los cuatro valores de cabeza hidráulica neta sustituyendo valores en la ecuación 8, adicionalmente se calculó la eficiencia tomando como valor de referencia la potencia al freno empleando la ecuación de Euler, usando la ecuación 8. (Ver tabla 18).

**Tabla 18. Eficiencia hidráulica.**

Variable	Valor			
$H(m)$	4.930	3.346	2.798	2.126
$n \text{ max } (RPM)$	347.092	304.636	286.340	227.422
$Wh(W)$	58.935	32.949	25.197	16.689
$Wf \text{ Euler}(W)$	30.705	18.365	14.386	8.664
$Wf \text{ max}(W)$	23.382	17.587	13.358	8.379
$Eficiencia \ Wf \text{ max.}/Wh$	39.674%	53.376%	53.016%	50.206%
$Eficiencia \ Wf \text{ Euler}/Wh$	52.101%	55.737%	57.094%	51.912%

## 6.9 Calculo del número específico de revoluciones

El número específico de revoluciones que caracteriza el comportamiento de la turbina se calculó utilizando los valores de la RPM, la cabeza neta y la potencia de la tabla 14, la cual se muestra en la tabla 19.

**Tabla 19. Calculo del Valor máximo del número específico de revoluciones**

Variable	Valor			
$H(m)$	4.930	3.340	2.780	2.130
$Ns(RPM \times CV^{1/2} / m^{5/4})$	8.424	10.433	10.750	9.433

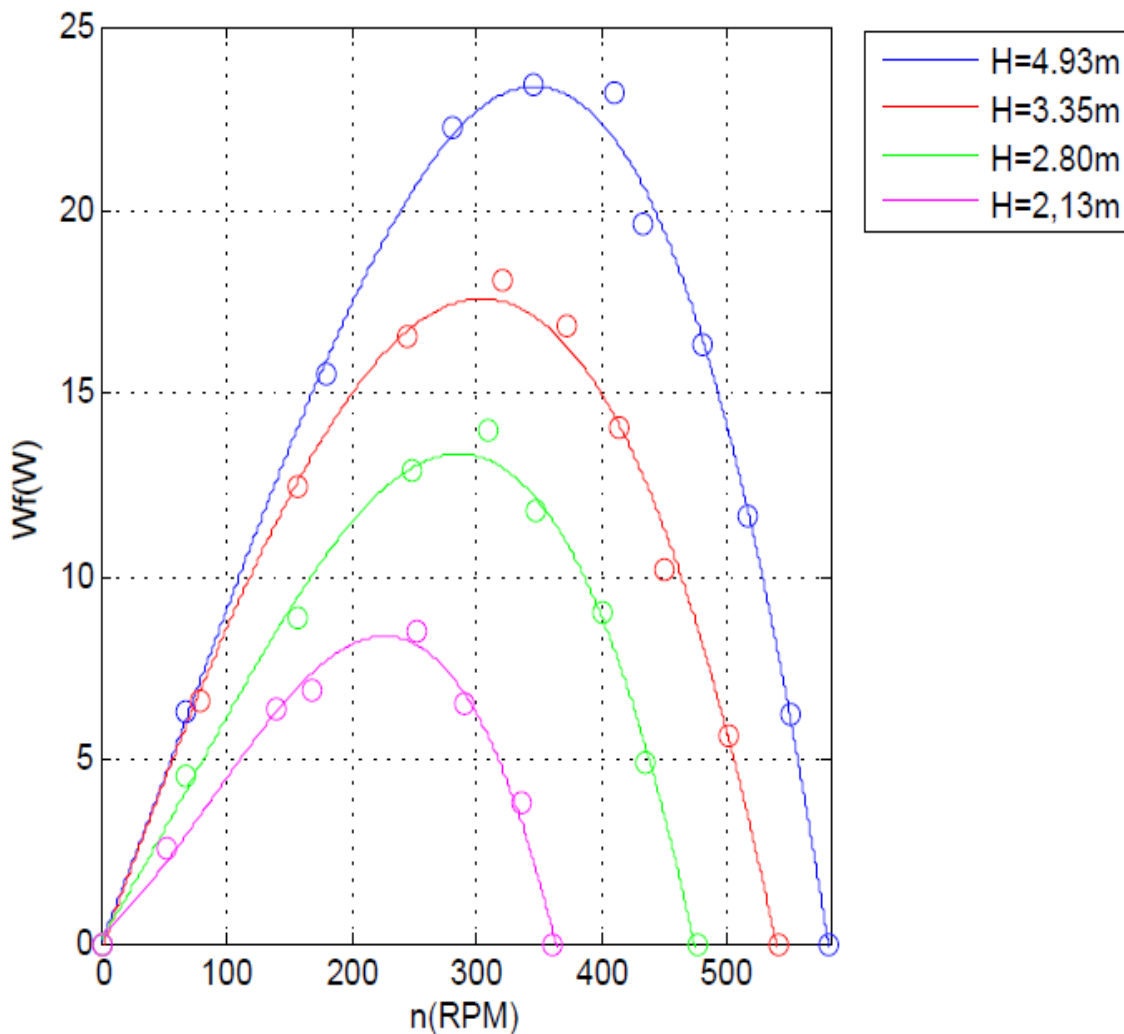
## 7 RESULTADOS

En esta sección se ilustran los resultados de obtenidos de las pruebas de laboratorio mediante la curva de potencia vs RPM, la curva de eficiencia y curva de isoeficiencia (potencia al freno-RPM-eficiencia de la turbina).

### 7.1 Curvas de Potencia vs RPM

A partir de los valores de RPM y los respectivos valores de potencia al freno calculados para cada cabeza neta, (ver tabla 13) se construyó una gráfica de potencia al freno contra RPM (ver Ilustración 25).

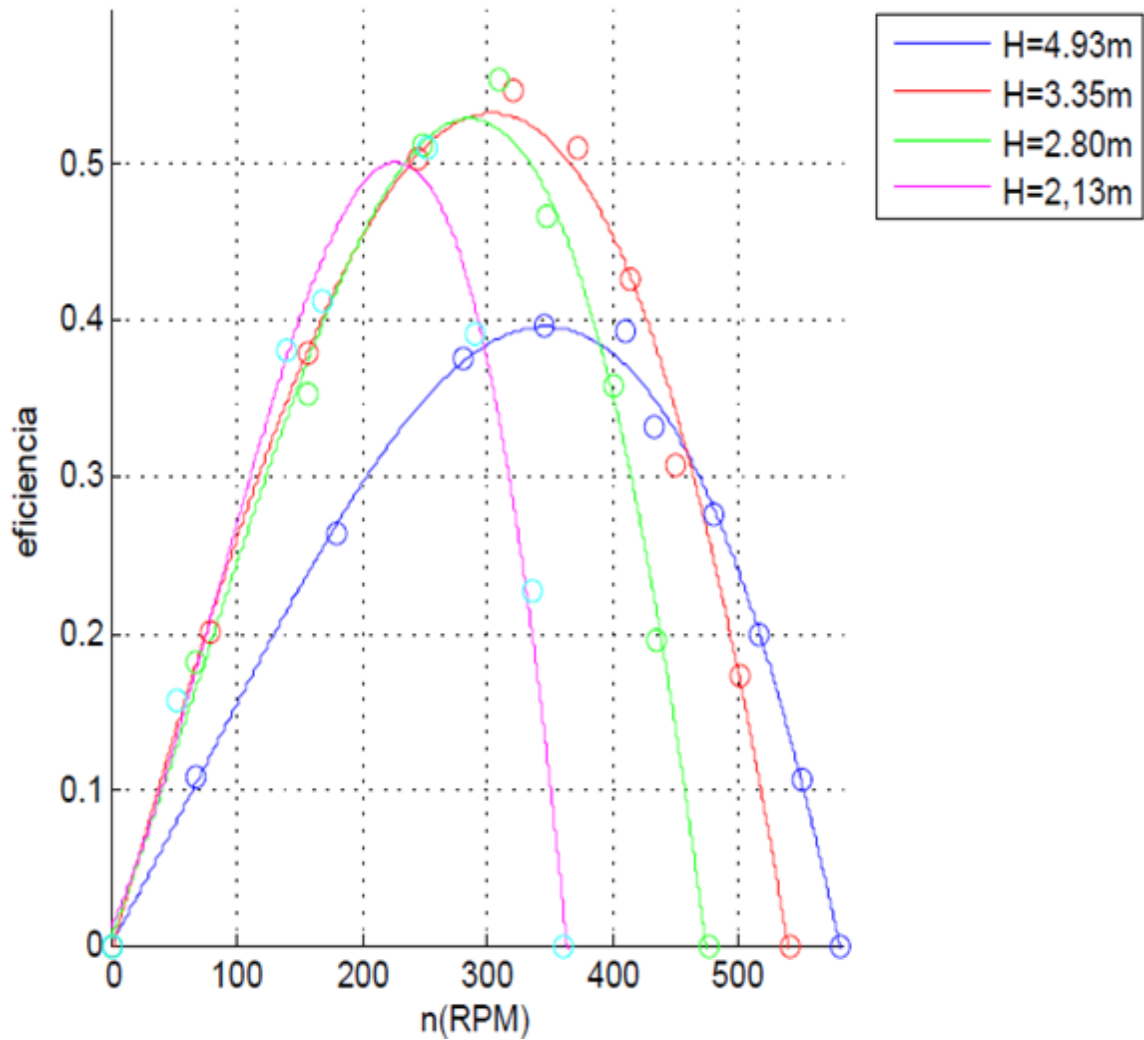
Ilustración 25. Curvas de Potencia-RPM.



## 7.2 Curva de eficiencia-RPM

A partir de la información calculada se construyó la curva que relaciona la eficiencia y las RPM a la salida del eje de la turbina para los cuatro valores de cabeza hidráulica trabajados a lo largo del trabajo, como se observa en la Ilustración 26.

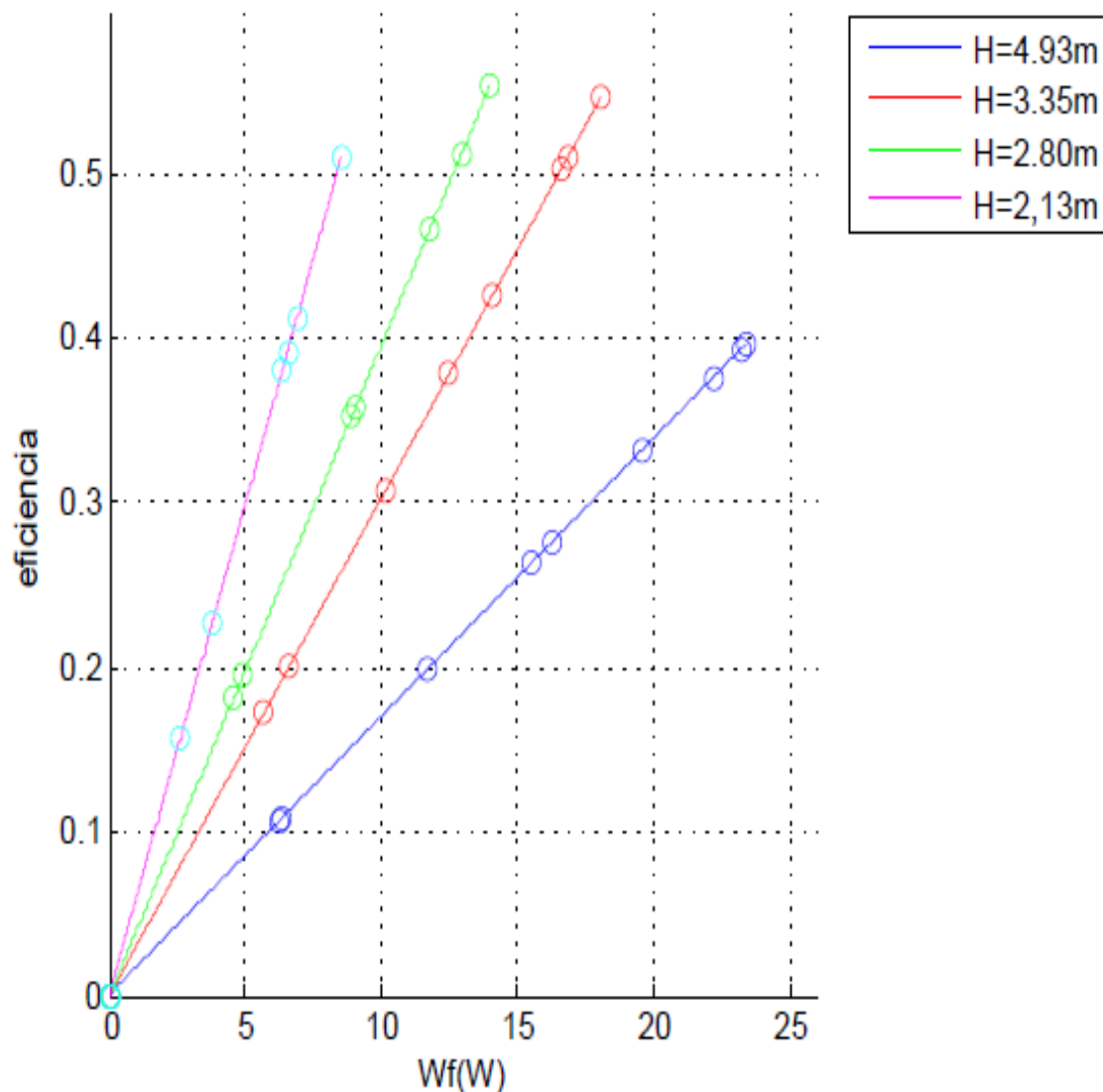
Ilustración 26. Curva de eficiencia.



## 7.3 Curva de eficiencia-potencia

A partir de los valores de la tabla 16 se construye la curva de eficiencia vs potencia para los cuatro valores de cabeza hidráulica, (Ver Ilustración 27).

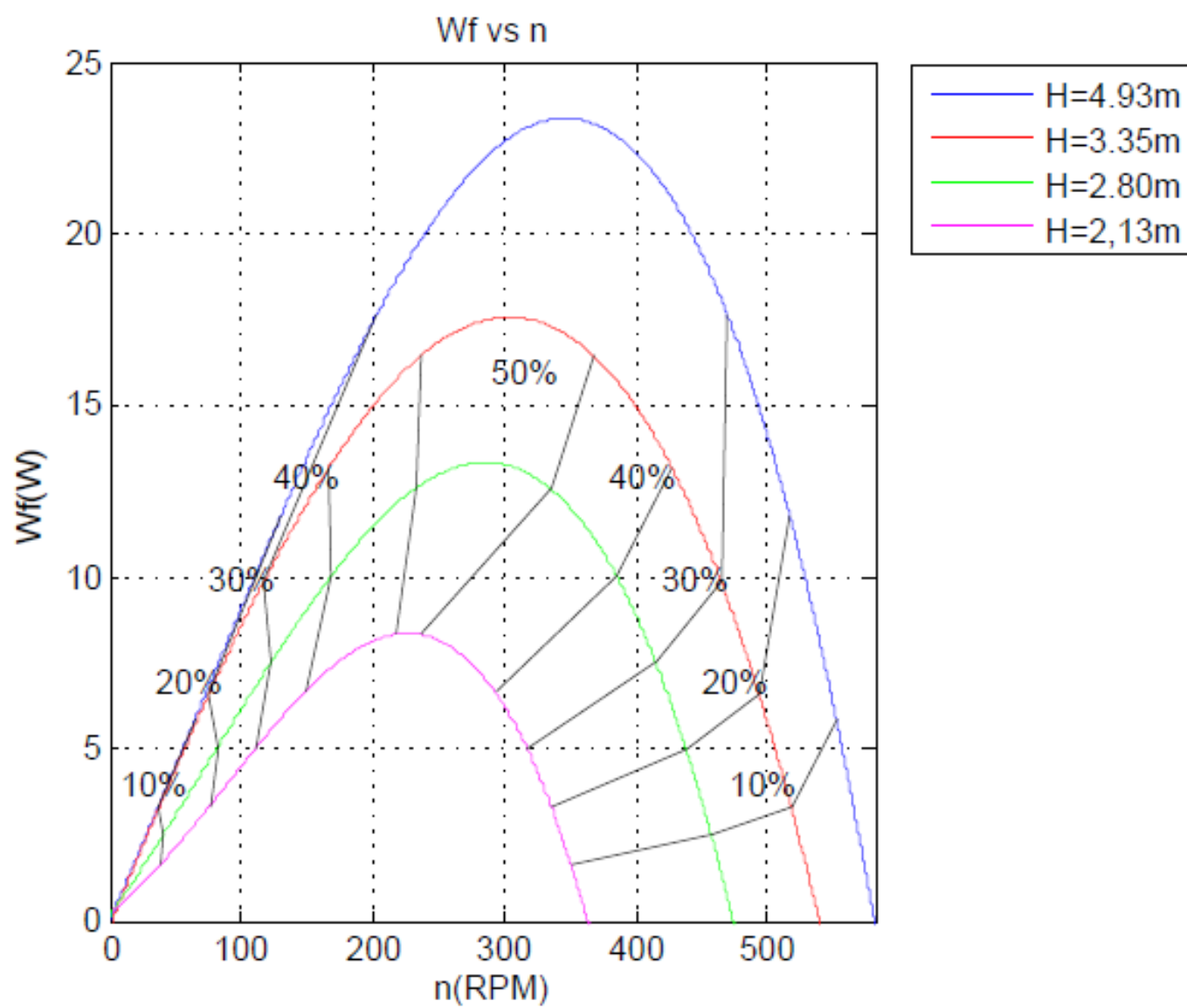
Ilustración 27. Curva eficiencia-potencia.



#### 7.4 Curva de isoeficiencia

La curva de isoeficiencia, (Ilustración 28), se construye para los cuatro valores de cabeza hidráulica trabajados a partir del cruce de las RPM de la Ilustración 26 con los valores de potencia de la Ilustración 27 para los cuales la eficiencia tenía un mismo valor (0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5).

Ilustración 28. Curva de isoeficiencia.



## 8 DISCUSIÓN

La máxima potencia alcanzada fue de 23.38 W para una cabeza hidráulica de 4.93 m, este valor presenta un error del 23.81 % con respecto al valor estimado con la ecuación de Euler y un error del 60.32 % respecto al valor de la potencia Hidráulica. Para las otras cabezas el error respecto al valor obtenido con la ecuación de Euler y la potencia hidráulica no fue mayor al 7.14% y 49.79% respectivamente. Los valores de la potencia máxima varían de forma exponencial con respecto a la velocidad angular para la gráfica  $W$  vs  $n$  (ver Ilustración 25).

La máxima velocidad angular fue de 347,38 RPM para una cabeza de 4.93 m y la velocidad máxima a la que se logra la mayor eficiencia en la gráfica de eficiencia vs  $n$ , (ver Ilustración 26), es de 300.59 RPM para una cabeza de 3.35 m.

La máxima eficiencia que se obtuvo en las pruebas fue del 53.38% para la cabeza de 3.35 m, (ver Ilustración 26 y 27), para la cabeza de 2,80 m y 2,13 m se obtuvieron eficiencias por encima del 50 % y para la cabeza de 4.93 m se obtuvo una eficiencia de 39.67%. La eficiencia hidráulica no logro ser mayor debido en parte a que el ángulo de ataque empleado en las pruebas fue de  $38,43^\circ$  lo cual es más del el doble del ángulo recomendado en la literatura de  $16^\circ$ .

La eficiencia decayó en un 25.67% al pasar de la cabeza 3.35 m a 4.93 m, esto en contra de la tendencia creciente que se observa en la en la gráfica de eficiencia vs  $n$ , (ver Ilustración 25) para las demás cabezas hidráulicas. Esto puede atribuirse a pérdidas por choque y recirculación al interior de la turbina en la segunda etapa de generación que empieza a tener efectos significativos para la cabeza de 4.93m.

El valor de  $N_s$  calculado para las condiciones de óptima operación para la gráfica de la curvas características (ver Ilustración 28), varía entre 8.24 y  $9.43 \text{ RPM} \times CV^{1/2}/m^{5/4}$ , el valor máximo de  $N_s$  que se obtuvo fue de  $9.43 \text{ RPM} \times CV^{1/2}/m^{5/4}$  para una cabeza de 2.80 m, lo cual está por fuera del rango de aplicación de una turbina Michell-Banki y de otros tipos de turbina siendo la turbina Pelton de 1 tobera la que más se acerca a las condiciones de operación calculadas.

Los valores experimentales obtenidos difieren de los valores estimados en el diseño del rodete, siendo inferiores a los valores de diseño, los cuales se calcularon para una potencia hidráulica de 99 W y un salto neto de 5 m, esto se debe a las condiciones del banco de pruebas empleado no permite probar la turbina en el punto de operación diseñado  $2E-3 \text{ m}^3/\text{s}$  y 552 RPM.

## 1 CONCLUSIONES

El punto de optimo desempeño esta por fuera de rango de trabajo de la turbina Michell-Banki, el máximo valor del numero especifico de revoluciones es de  $9.43 \text{ RPM} \times CV^{1/2}/m^{5/4}$  para una cabeza de 2.80 m en contraste con el valor del numero especifico de revoluciones de una turbina Michell-Banki que se encuentra en el rango de  $17-73 \text{ RPM} \times CV^{1/2}/m^{5/4}$ , la turbina que se asemeja más a la turbina estudiada es una Pelton de un inyector; esto se debe a que la el rodete no puede segmentar la capacidad de generación como ocurre en una turbina Michell-Banki tipo Ossberger, por lo que no se ajusta a el rango de operación de este tipo de turbinas.

El inyector obtuvo un rendimiento de 0.981 muy similar al valor sugerido en la literatura de 0.98, aunque la disposición de este en el montaje de la turbina limito la potencia que se podía generar a un valor de 23.38 W debido a que el ángulo de ataque empleado en las pruebas fue de  $38.43^\circ$ , lo cual es más del el doble del ángulo recomendado en la literatura de  $16^\circ$ .

La potencia al freno tuvo un comportamiento similar al esperado para una turbina de flujo cruzado para las cabezas de 2.13, 2.80 y 3.35, es decir el error entre el valor de la potencia al freno y el obtenido con la ecuación de Euler para turbomáquinas no fue superior al 7.14%, sin embargo para la cabeza neta de 4.93 m la potencia al freno vario significativamente respecto al valor calculado con la ecuación de Euler, el porcentaje de error es del 23.81%.

La máxima eficiencia hidráulica de operación de la turbina es de 53.38% para una de cabeza hidráulica de 3.35 m, en contraste se obtuvo una eficiencia del 39.67 % para la cabeza de 4.93 m.

Se deben realizar nuevas pruebas para valores de cabeza hidráulica superiores a los 5 m debido a que con la información disponible no se puede determinar si la caída en la potencia para la cabeza de 4.93 m corresponde con efectos de recirculación al interior de la turbina que ocurren en la segunda etapa de generación del rodete.

La potencia al freno máxima calculada de 23.38 W lo cual ubica la turbina como una turbina de pico generación, siendo útil para suministrar energía a pequeños equipos eléctricos.



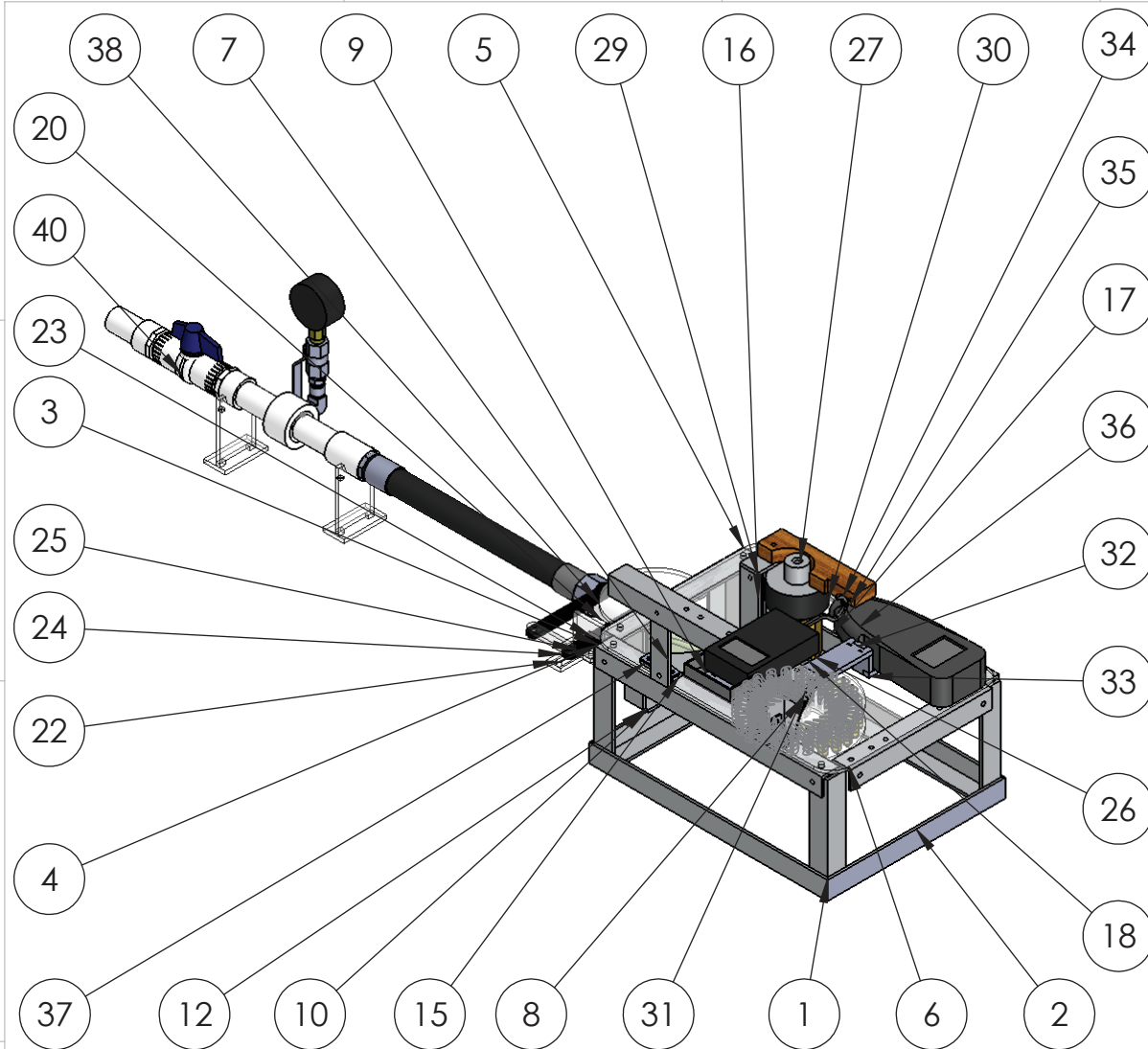
## **2 RECOMENDACIONES**

Debe considerarse reposicionar el pivote del sistema de selección de ángulo de la turbina ya que el montaje actual presenta limitaciones para el ángulo de entrada.

Se deben realizar nuevas pruebas para la potencia al freno para cabezas superiores a 5 m de modo que se pueda observar si la potencia disminuye al aumentar la cabeza hidráulica al funcionar como una turbina de dos etapas y una segunda prueba en la que fabrique un deflector que redirija el chorro fuera de la turbina, una vez ingresa haciendo funcionar la turbina como una turbina de una sola etapa y comparar los resultados que se obtengan en estas dos pruebas.

## BIBLIOGRAFÍA

- CORPOEMA, C. e. (10 de 12 de 2010). FORMULACIÓN DE UN PLAN DE DESARROLLO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN COLOMBIA (PDFNCE). Bogotá, Bogotá, Colombia.
- Franco Garcia, Á. (Diciembre de 2010). *Física con ordenador*. Recuperado el 20 de 08 de 2014, de Física con ordenador:  
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/dinamico/dinamico.htm>
- Guerrero, D., & Tapia, J. D. (2011). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TURBINA MICHELLBANKI. Eafit, Medellín.
- INEA, I. d. (1997). *GUA DE DISEÑO PARA PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS*. (E. Torres Quintero, Ed.) Bogotá, Cundinamarca, Colombia: INEA.
- Lewitt, E. (1958). *Hidraulic and fluid mechanics*. Londres: Sir Isaac Pitman & Sons,LTD.
- Mataix, C. (2007). *Mecanica de fluídos y maquinas hidraulicas*. Alfaomega.
- Mockmore, C. (1949). *The Banki water turbine*. Corvallis: Oregon State University.
- Mott, R. (1996). *Mecanica de fluídos aplicada*. Mexico: Prentice hall hispanoamericana,SA.
- Paris, D. (2013). *Diseño y construccion de un rodete prototipo de una turbina tipo Michell-Banki*. Medellín.
- PAVCO. (14 de Julio de 2014). *Manual tecnico tubosistemas Presion PVC*. Recuperado el 28 de Julio de 2014, de pavco: <http://www.pavco.com.co/>
- Peláez, J. D. (2012). *Estudio del funcionamiento y propuesta de rediseño de un prototipo de picoturbina Michell-Banki*. Eafit, Medellín.
- Peláez, J. D. (2014). Study of the effect of the geometrical paameters of the runner and operation condition on performance and flow characteristics in a cross flow Turbine. Eafit, Medellín.
- UPME, u. d. (2013). PLAN DE EXPANSION DE REFERENCIA GENERACIÓN-TRANSMICIÓN 2013-2027.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	BASE 1-1		2
2	BASE 1-2		2
3	COLUMNA 1-1		4
4	BASE 2-1		2
5	BASE 2-2		2
6	LAMINA 1-1		1
7	COLUMNA 2-1		2
8	BASE 3-1		1
9	BASE 4-1		1
10	BASE 5-1		1
11	BASE 5-2		1
12	COLUMNA 4-1		2
13	GUIA 1-2		1
14	GUIA 1-1		1
15	BASE 6-1		1
16	COLUMNA 6-1		2
17	BASE 7-1		1
18	BASE 7-2		1
19	COLUMNA 5-1		1
20	CONEXION 1-1		1
21	BOQUILLA 1-1		1
22	BASE 8-1		1
23	COLUMNA 7-1		1
24	BASE 9-1		2
25	BASE 9-2		1
26	CHUMASERA 1-1		1
27	EJE 1-1		1
28	RODAMIENTO 1-1		2
29	BASE 11-1		1
30	VOLANTE 1-1		1
31	BASE 12-1		1
32	COLUMNA 8-1		1
33	BASE 12-2		1
34	DINAMOMETRO		1
35	FRENO		1
36	TACOMETRO 1-1		1
37	UNION 1-1		6
38	ESCUADRA 1-1		1
39	ENSAMBLE TURBINA 1-1		1
40	SISTEMA DE MEDICION DE PRESION 1-1		1



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

Ensamble Turbina

ESCALA:

1:7

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:

10/09/14

FECHA:

1/1

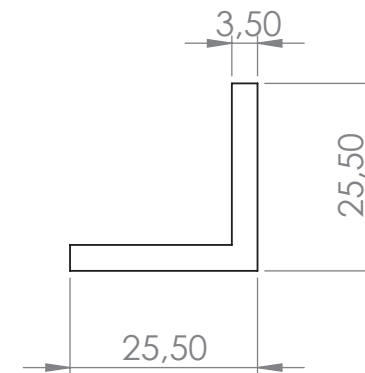
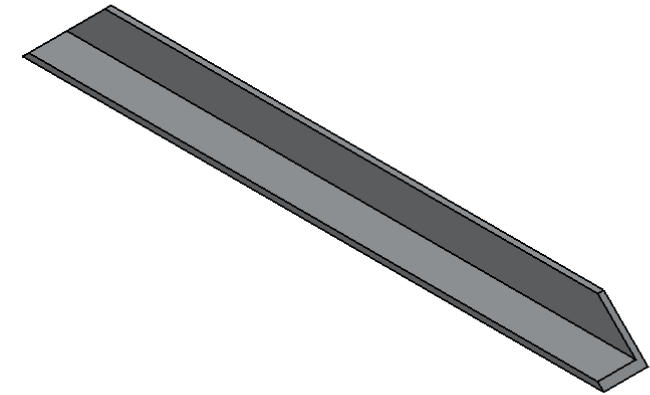
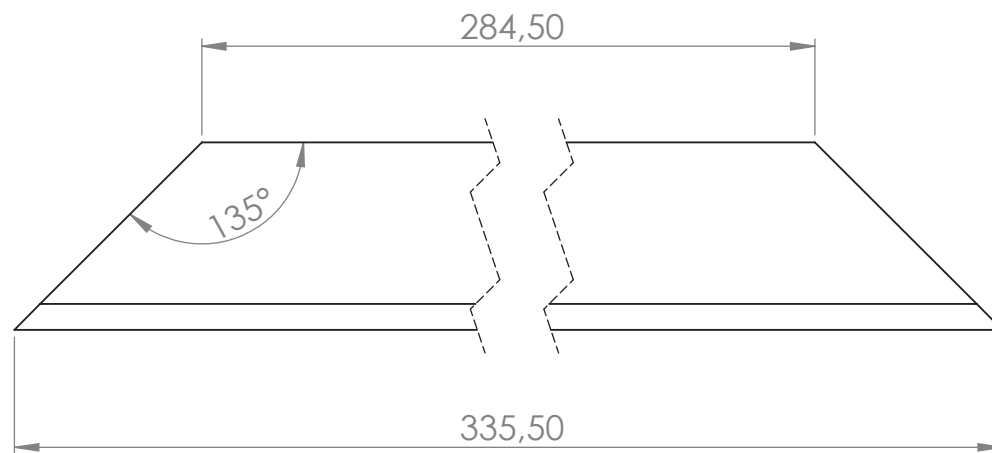
PLANO:

1/1

REVISION NOMBRE FIRMA FECHA


DIBUJO: Santiago Giraldo

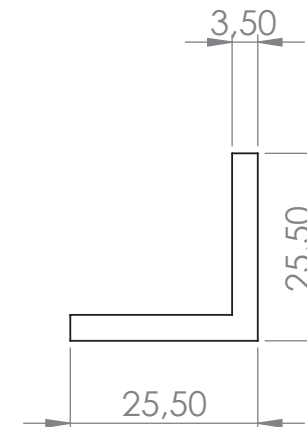
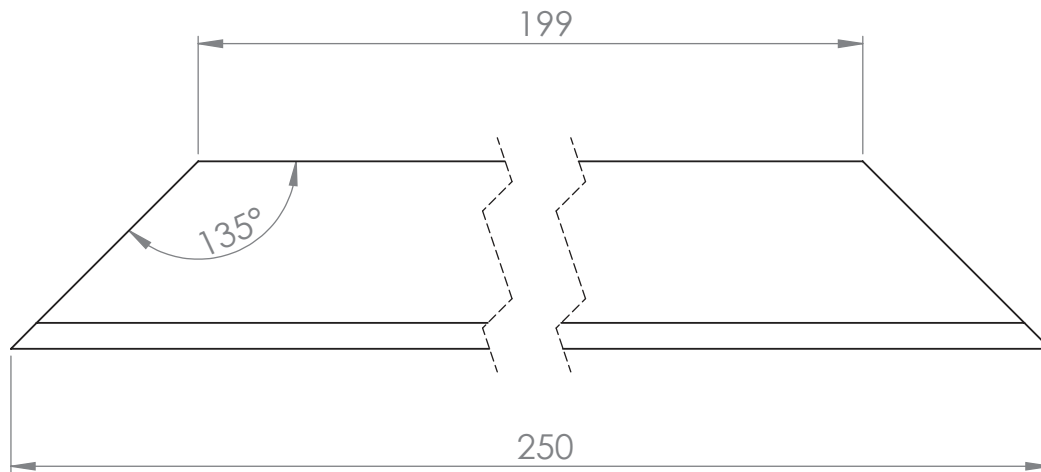
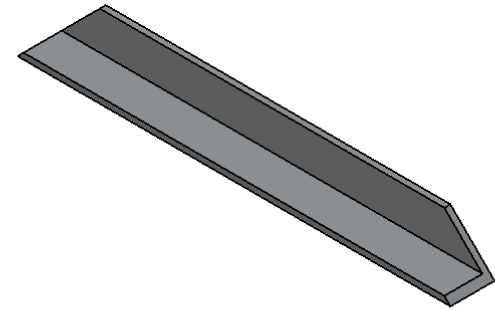
APROBO: Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: BASE 1-1						
ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 1/40	DIBUJO: Santiago Giraldo			
			APROBO: Luis Santiago Paris			



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

BASE 1-2

ESCALA:

1:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

2/40

REVISION

NOMBRE

FIRMA

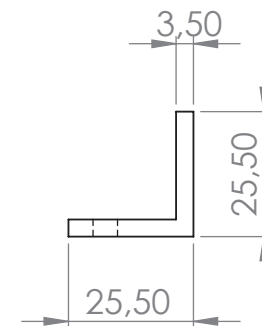
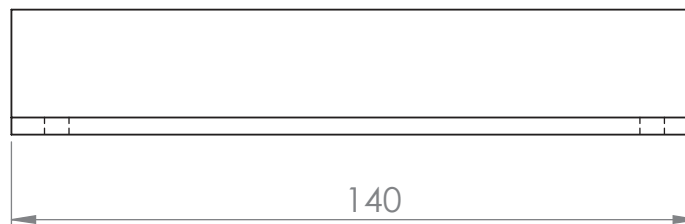
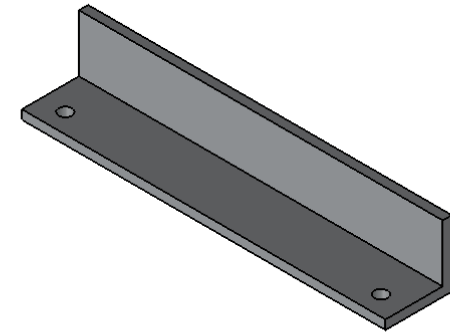
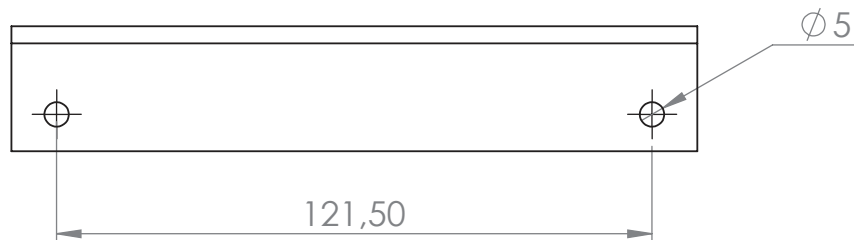
FECHA

DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

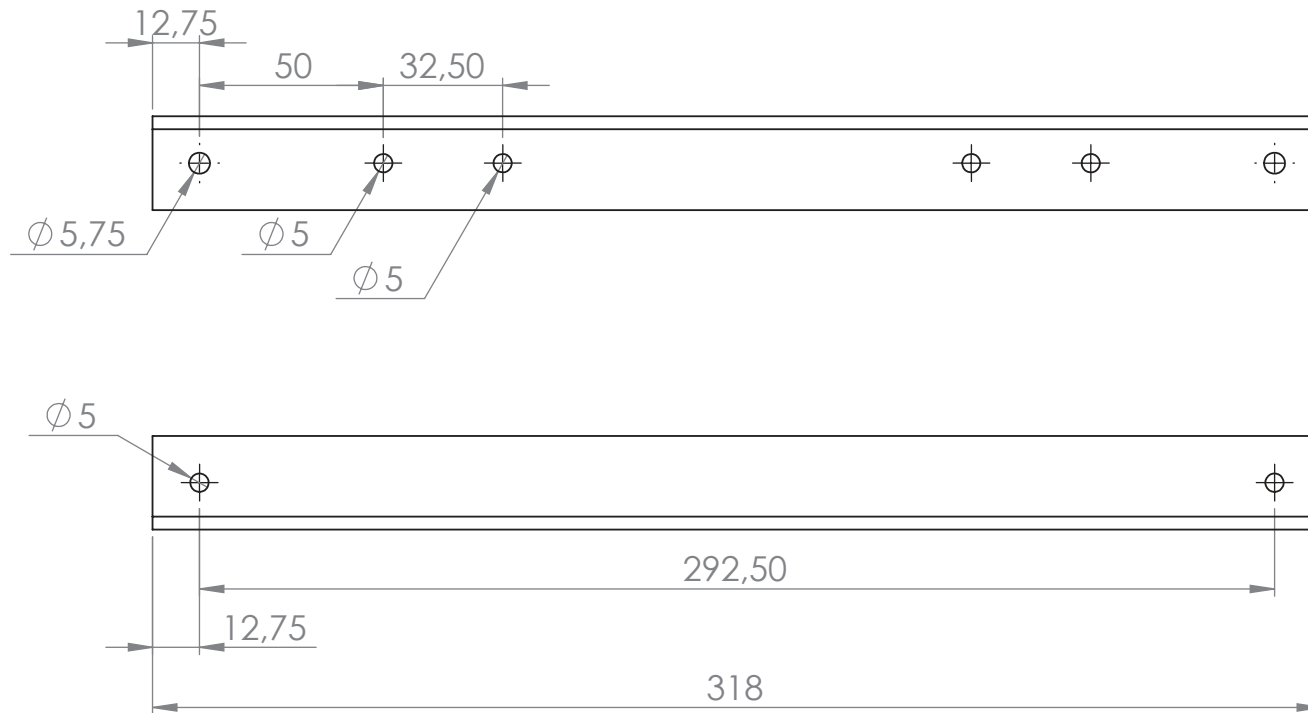
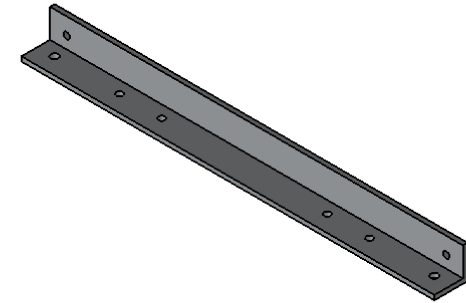
Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:					
Prueba de una microturbina					
Michell-Banki de baja potencia					
ASIGNATURA:					
Proyecto de grado					
PIEZA:					
COLUMNA 1-1		REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA:	UNIDADES:	FORMATO:	DIBUJO:		
1 : 1.5	mm	A4	Santiago Giraldo		
SISTEMA:	FECHA:	PLANO:	APROBO:		
	10/09/14	3/40	Luis Santiago Paris		



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
BASE 2-1

ESCALA: 1 : 2 UNIDADES: mm FORMATO: A4

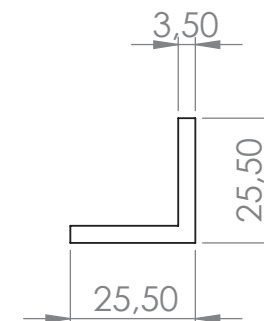
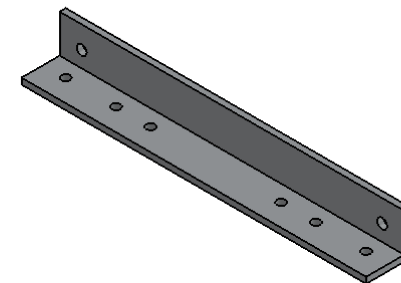
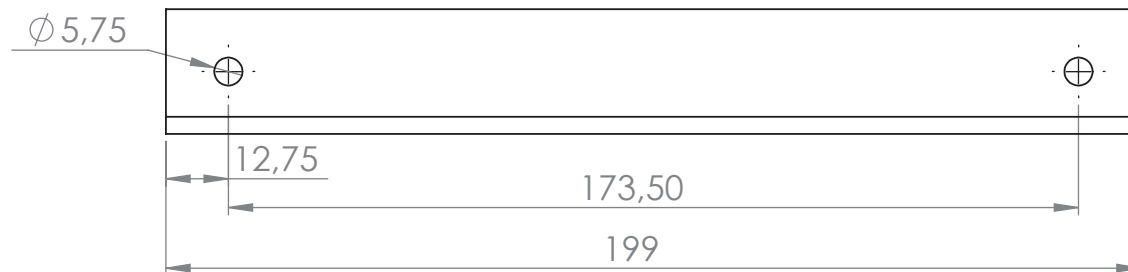
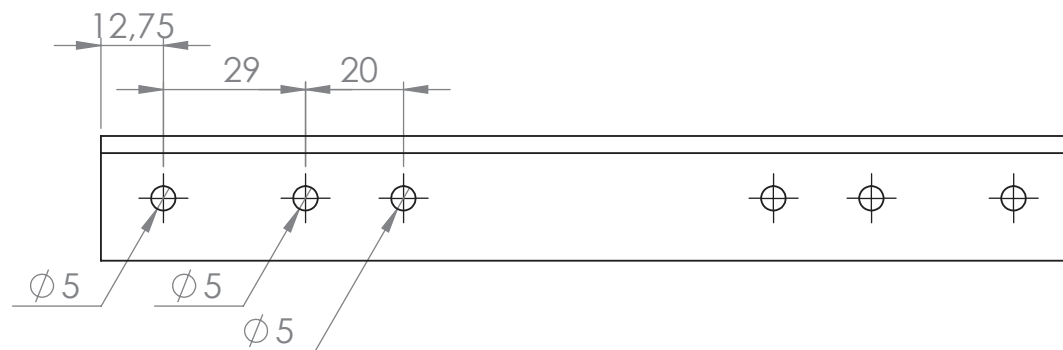
SISTEMA: FECHA: 10/09/14 PLANO: 4/40



REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris

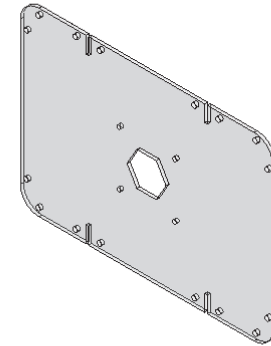
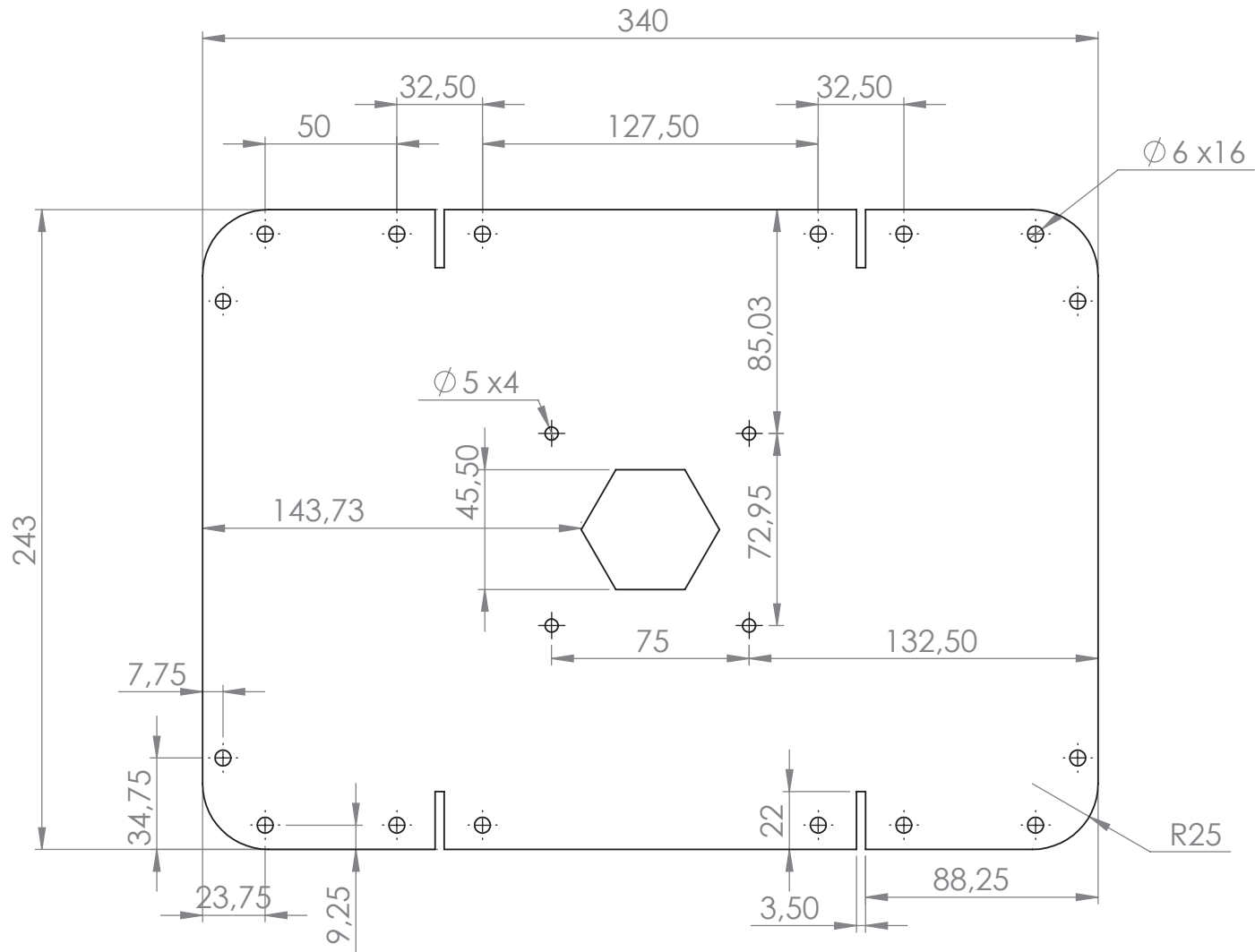


CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:					
Prueba de una microturbina					
Michell-Banki de baja potencia					
ASIGNATURA:					
Proyecto de grado					
PIEZA:					
BASE 2-2		REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA:	UNIDADES:	FORMATO:	DIBUJO:		
1: 1.5	mm	A4	Santiago Giraldo		
SISTEMA:	FECHA:	PLANO:	APROBO:		
	10/09/14	5/40	Luis Santiago Paris		





CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
LAMINA 1-1

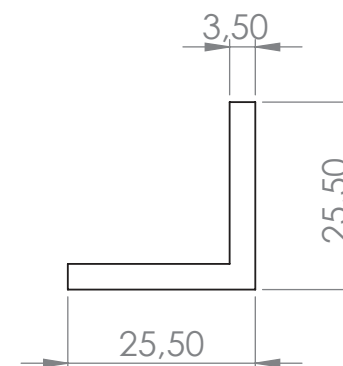
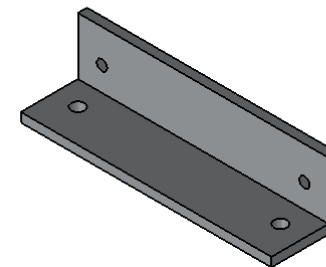
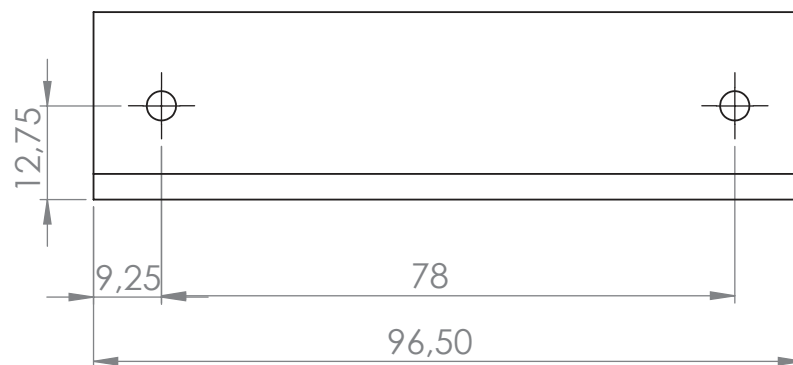
ESCALA: 1 : 2.5 UNIDADES: mm FORMATO: A4

SISTEMA: FECHA: 10/09/14 PLANO: 6/40

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

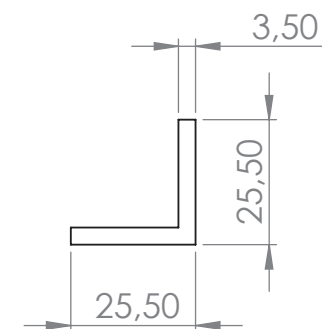
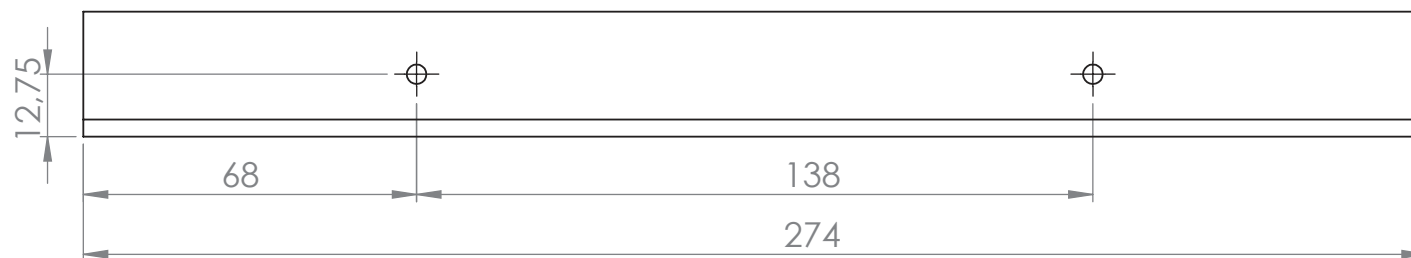
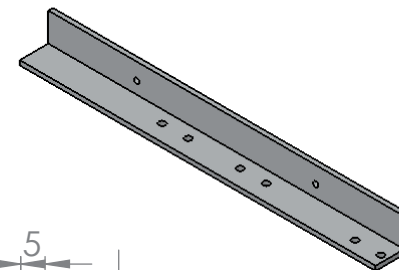
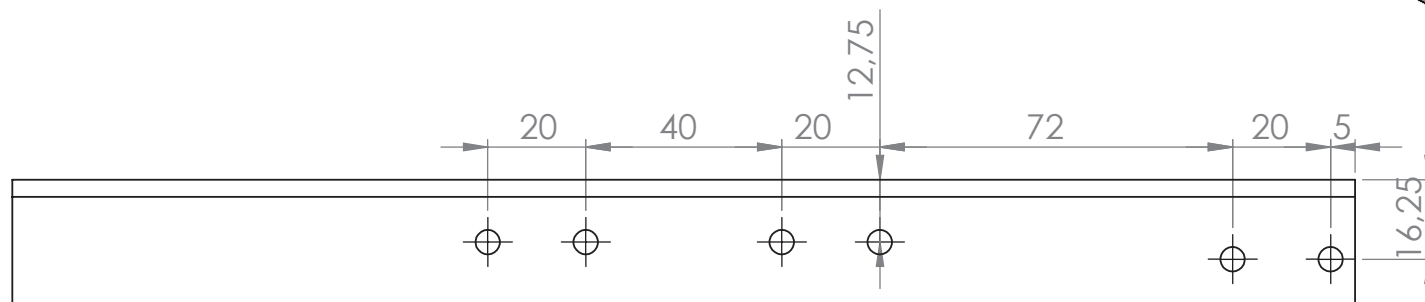
APROBO: Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

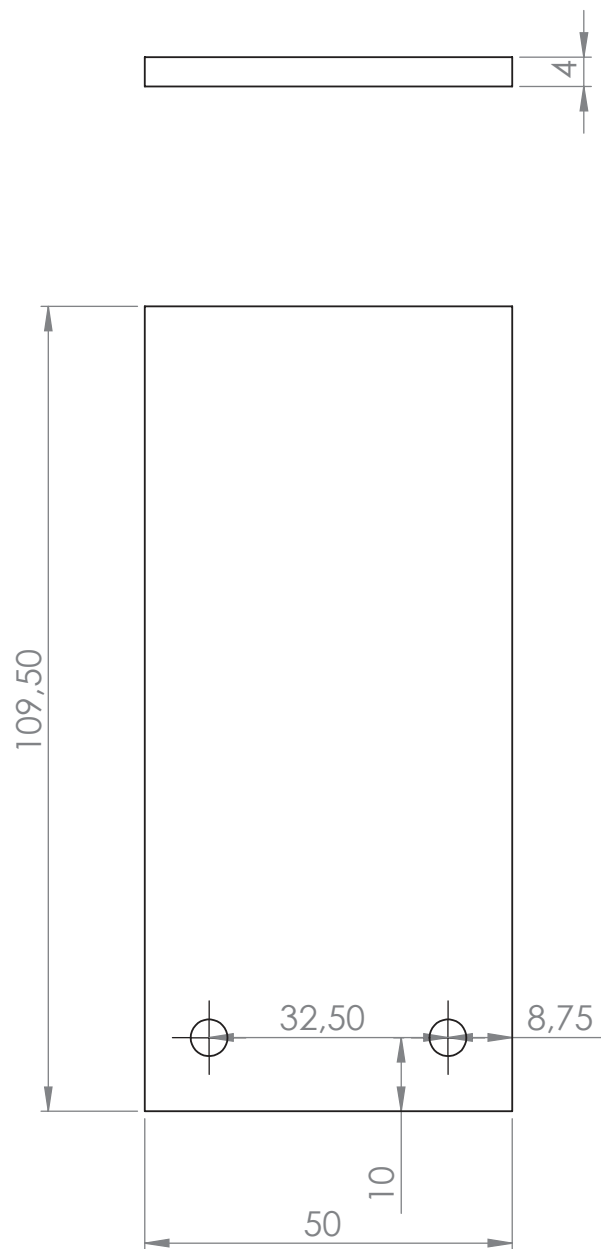
PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: COLUMNNA 2-1			REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	DIBUJO: Santiago Giraldo			
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 7/40	APROBO: Luis Santiago Paris			



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

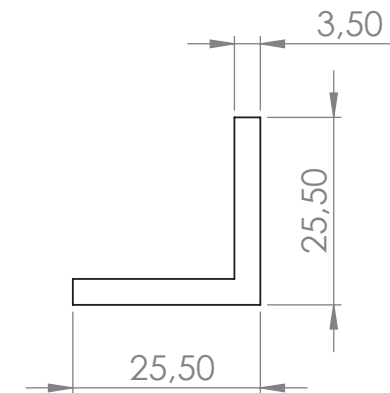
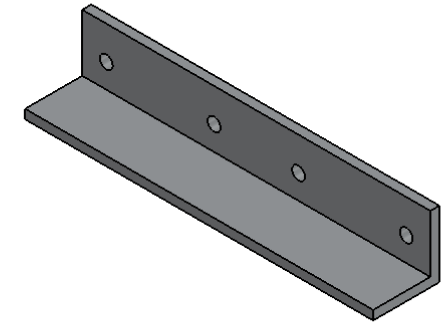
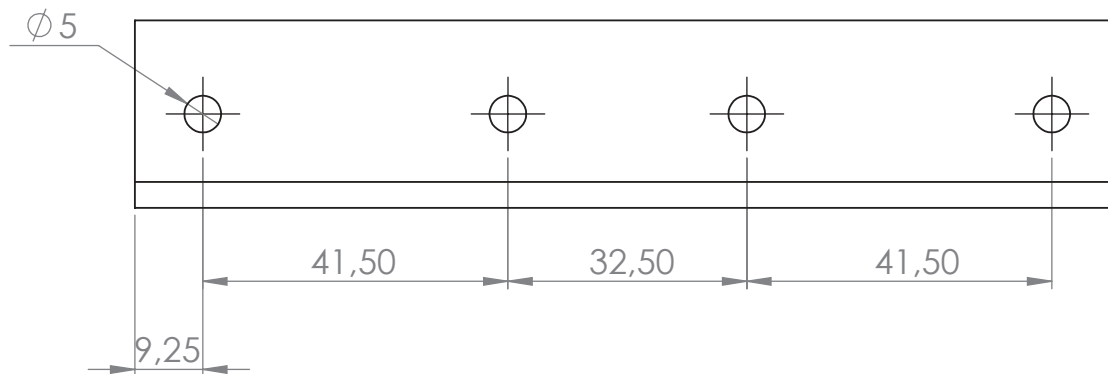
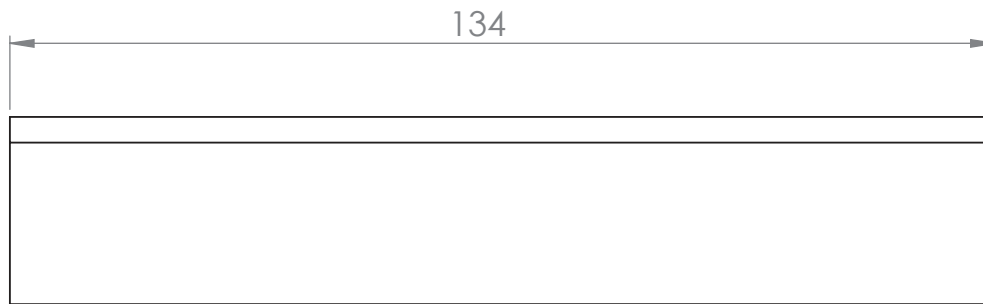
PROYECTO:					
Prueba de una microturbina					
Michell-Banki de baja potencia					
ASIGNATURA:					
Proyecto de grado					
PIEZA:					
BASE 3-1		REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA:	UNIDADES:	FORMATO:	DIBUJO:		
1 : 1.5	mm	A4	Santiago Giraldo		
SISTEMA:	FECHA:	PLANO:	APROBO:		
	10/09/14	8/40	Luis Santiago Paris		



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

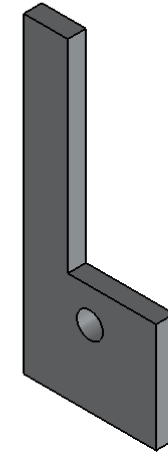
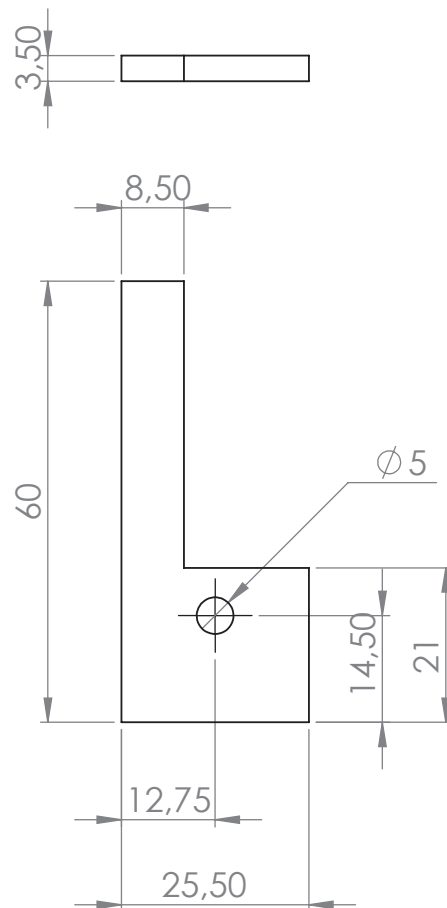
PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: BASE 4-1						
ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 9/40	DIBUJO: Santiago Giraldo			
			APROBO: Luis Santiago Paris			



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: BASE 5-1			REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	DIBUJO: Santiago Giraldo			
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 10/40	APROBO: Luis Santiago Paris			



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
BASE 5-2

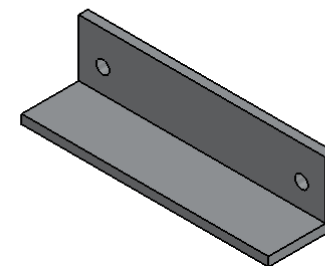
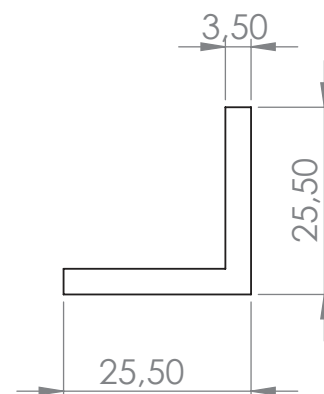
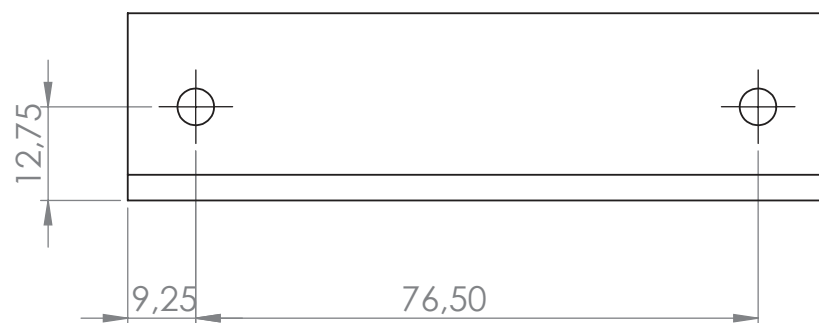
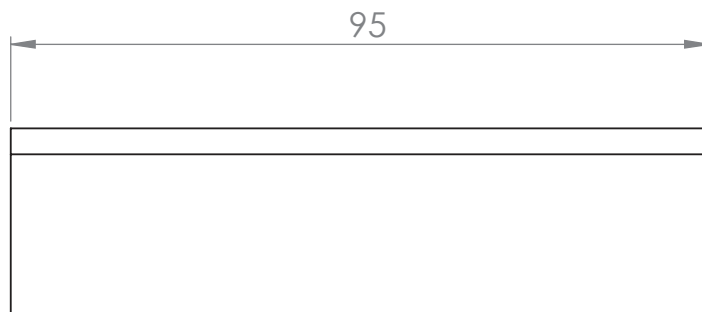
ESCALA: 1:1 UNIDADES: mm FORMATO: A4

SISTEMA: FECHA: 10/09/14 PLANO: 11/40

REVISION NOMBRE FIRMA FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

COLUMNA 4-1

ESCALA:

1:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

12/40

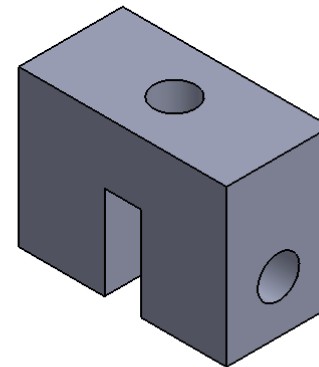
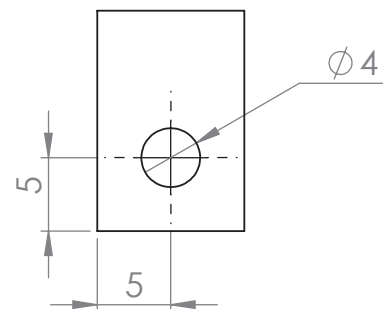
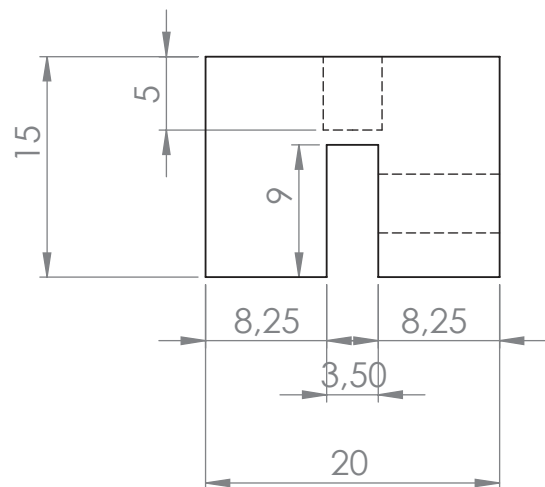
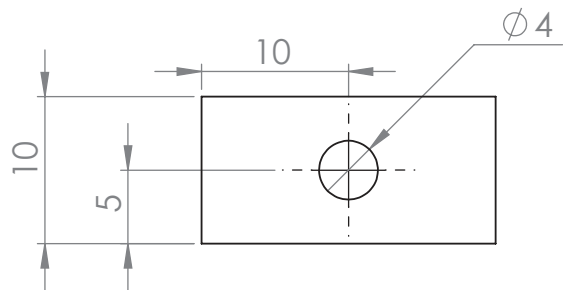
DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

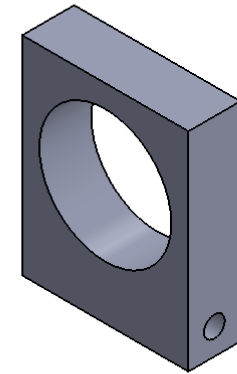
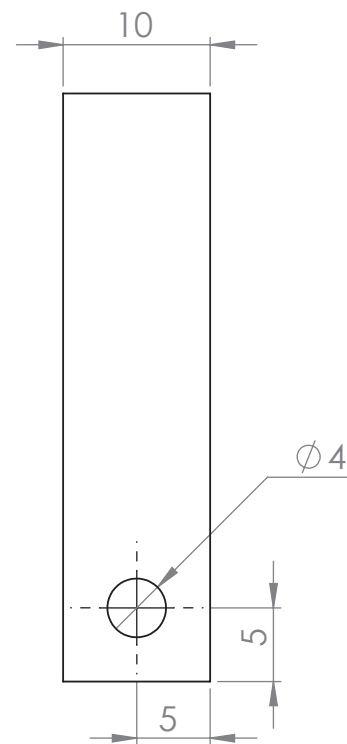
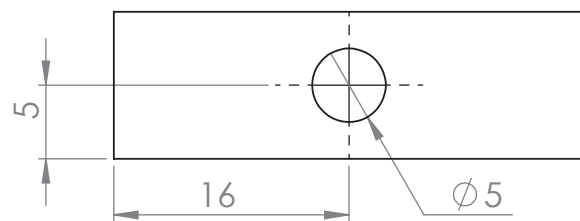
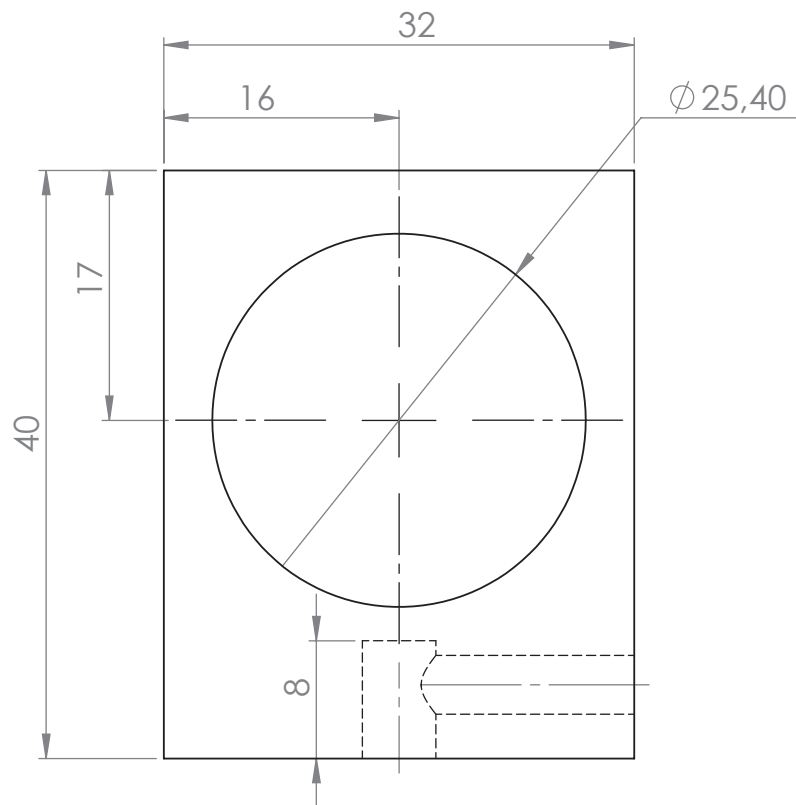


CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: GUIA 1-2			REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA: 2:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	DIBUJO: Santiago Giraldo			
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 13/40	APROBO: Luis Santiago Paris			





CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
GUIA 1-1

ESCALA: 2:1 UNIDADES: mm FORMATO: A4

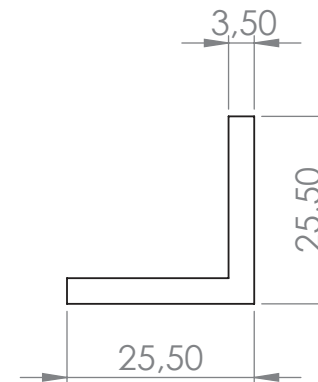
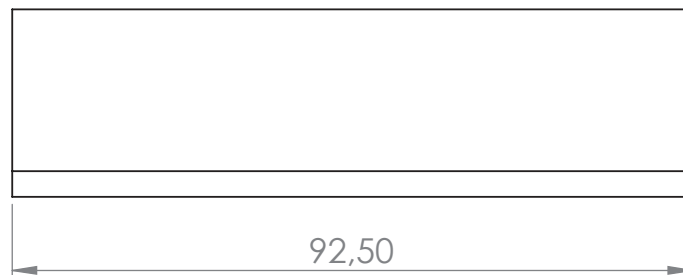
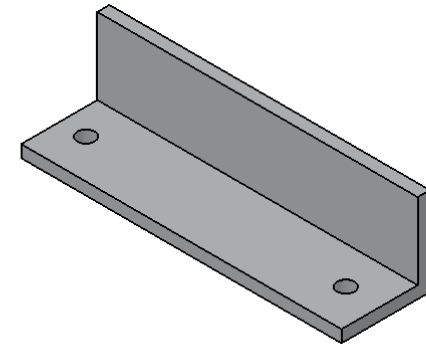
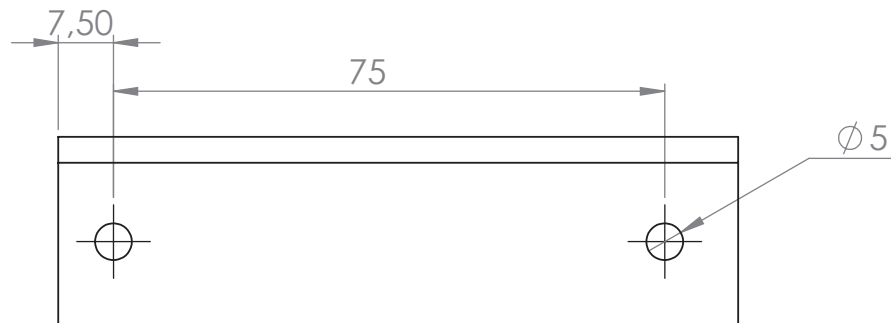
SISTEMA: FECHA: 10/09/14 PLANO: 14/40

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris





CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
COLUMNA 6-1

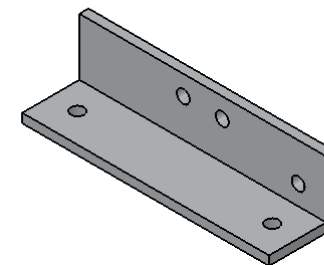
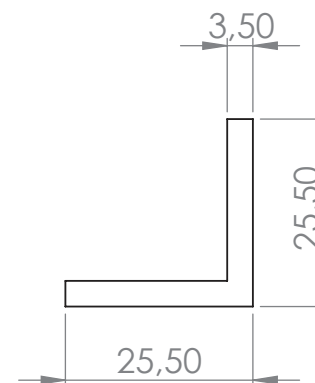
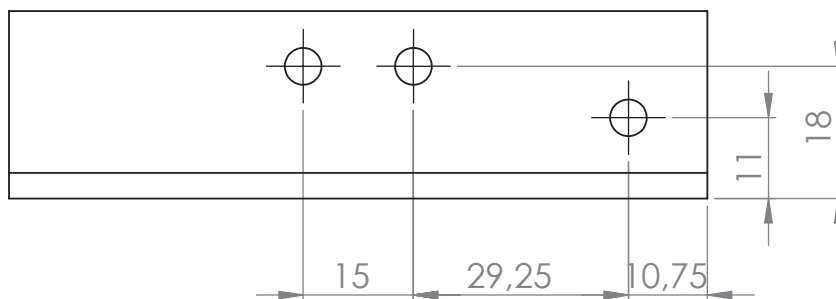
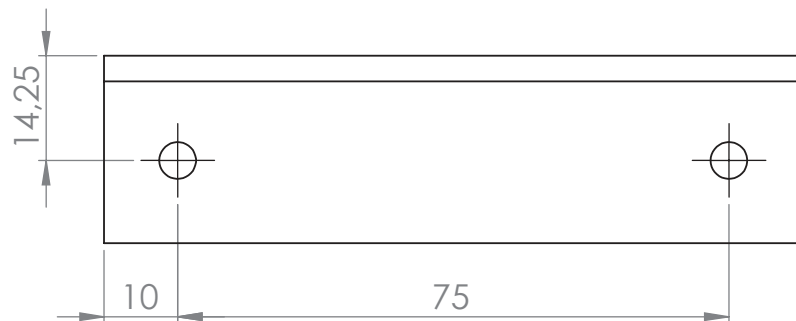
ESCALA: 1:1 UNIDADES: mm FORMATO: A4

SISTEMA: FECHA: 10/09/14 PLANO: 16/40

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

BASE 7-1

ESCALA:

1:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

17/40

REVISION

NOMBRE

FIRMA

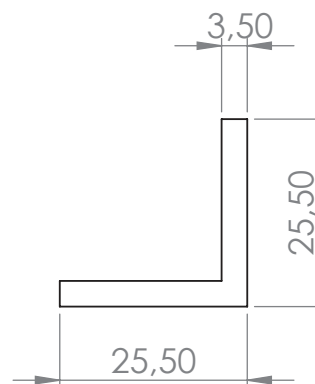
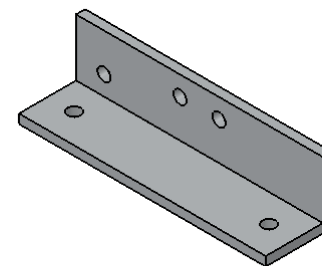
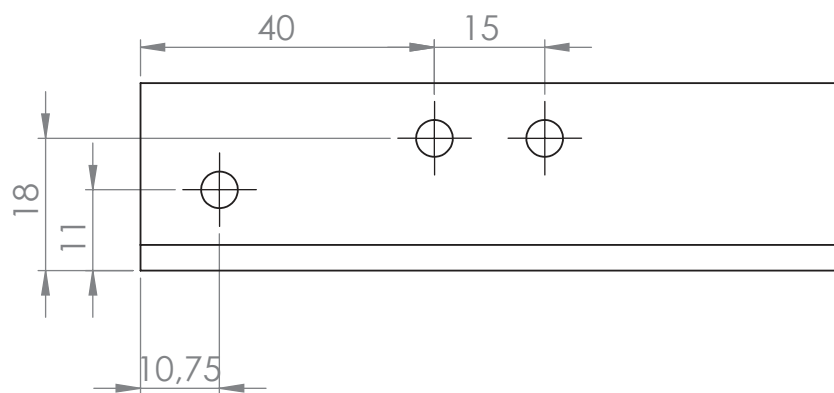
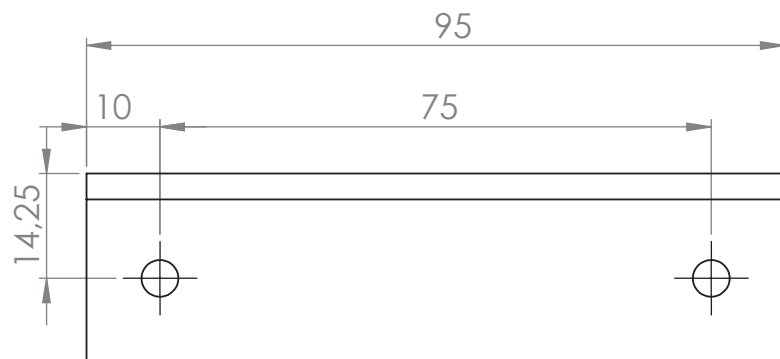
FECHA

DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
BASE 7-2

ESCALA: 1:1 UNIDADES: mm FORMATO: A4

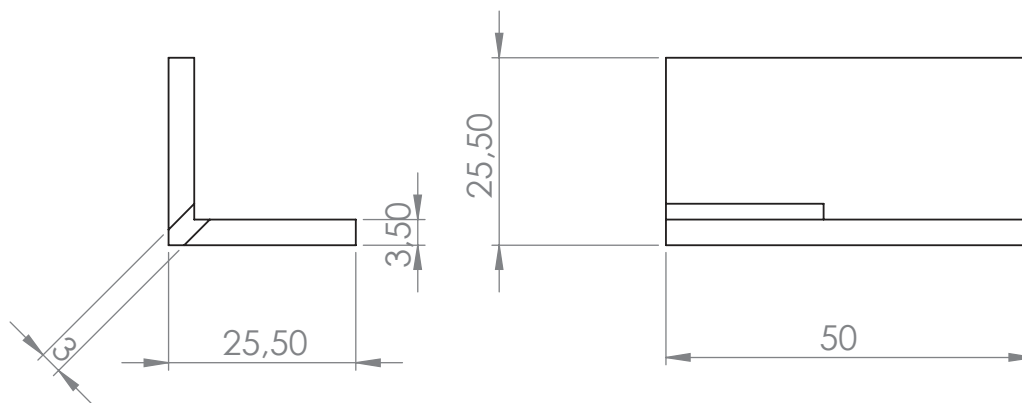
SISTEMA: FECHA: 10/09/14 PLANO: 18/40



REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:

Nombre

ESCALA:

1:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

19/40

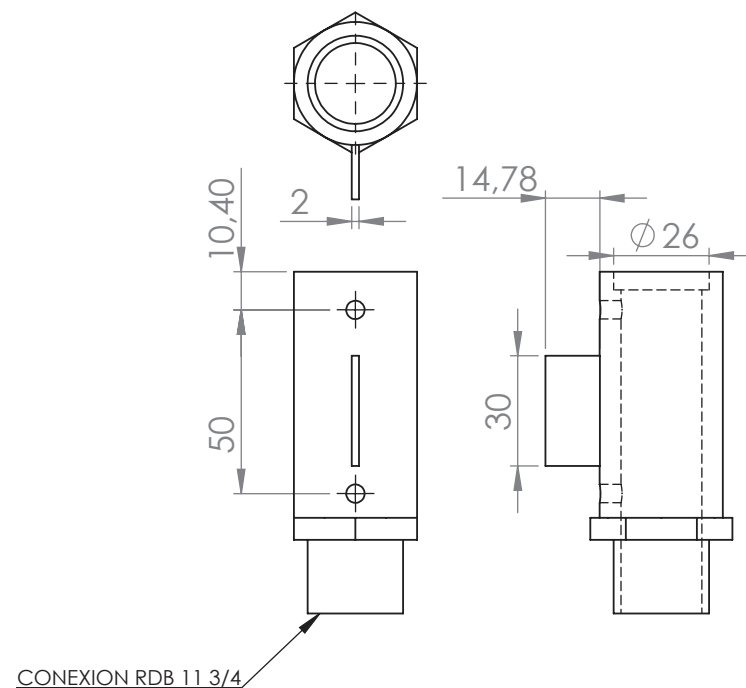
DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:


Luis Santiago Paris

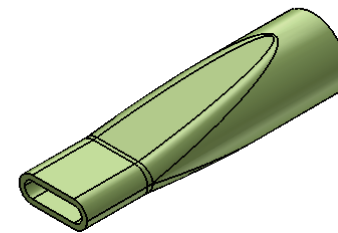
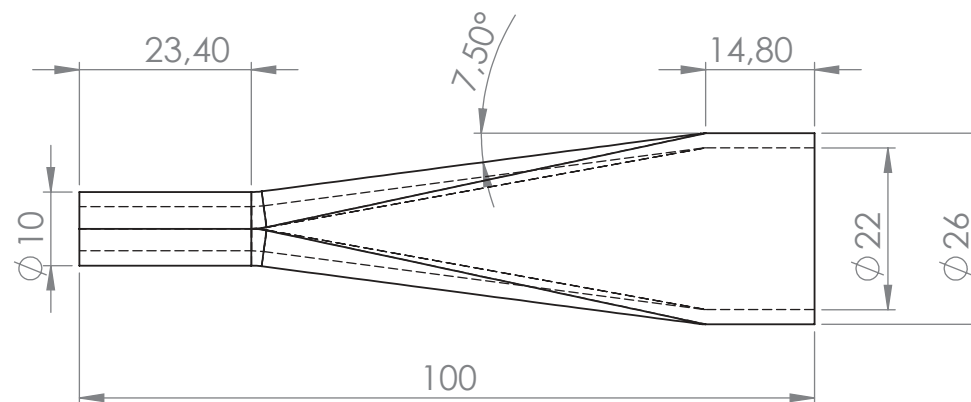
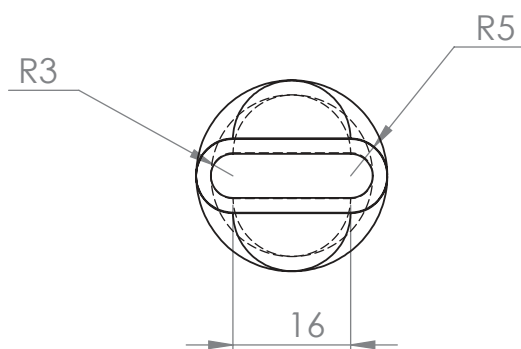
REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: CONEXION 1-1			REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	DIBUJO: Santiago Giraldo			
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 20/40	APROBO: Luis Santiago Paris			



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
BOQUILLA 1-1

ESCALA: 1:1 UNIDADES: mm FORMATO: A4

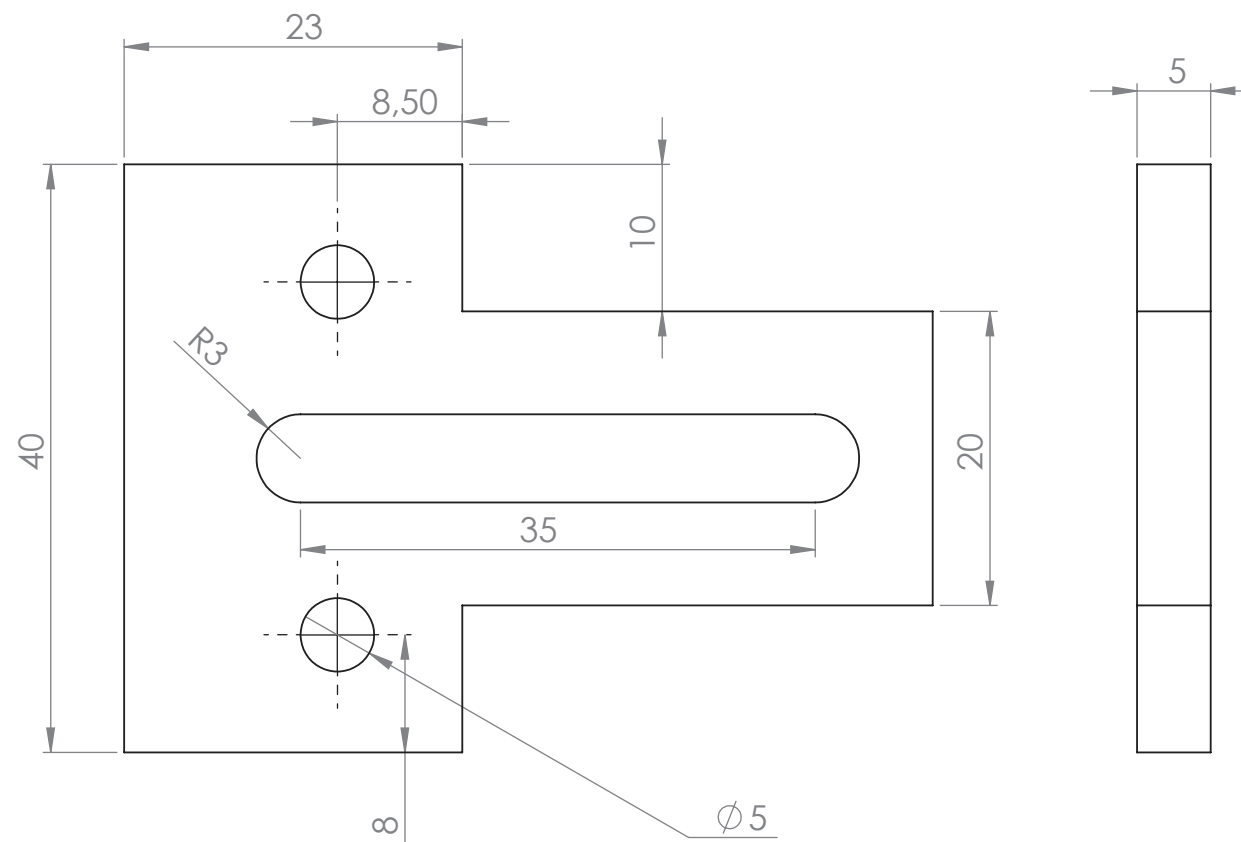
SISTEMA: FECHA: 10/09/14 PLANO: 21/40

REVISION NOMBRE FIRMA FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris

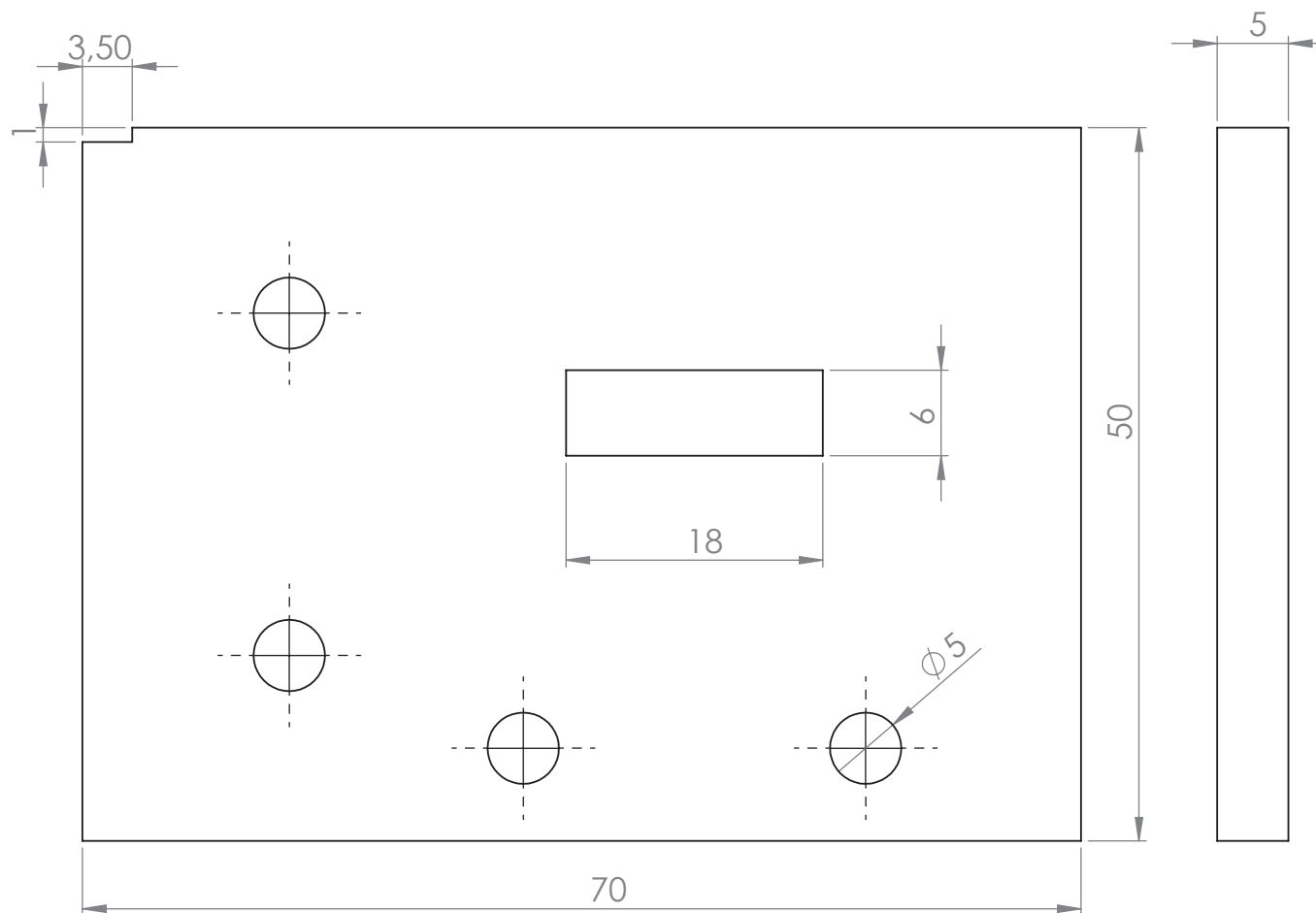




CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:		Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia			
ASIGNATURA:		Proyecto de grado			
PIEZA:		BASE 8-1			
ESCALA:	UNIDADES:	FORMATO:	DIBUJO:	REVISION	NOMBRE
2:1	mm	A4	Santiago Giraldo		
SISTEMA:	FECHA:	PLANO:	APROBO:	FIRMA	FECHA
	10/09/14	22/40	Luis Santiago Paris		



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

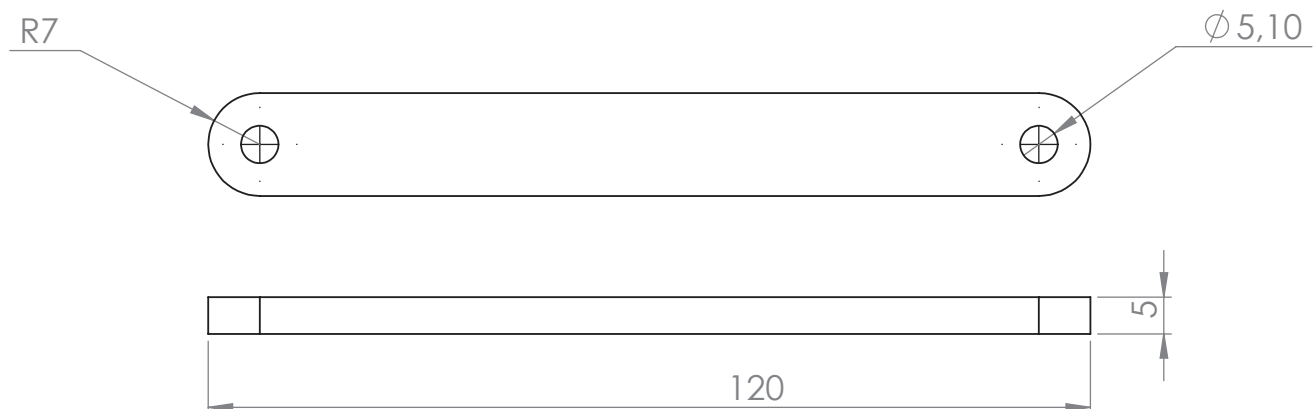
PIEZA:  
COLUMNA 7-1

ESCALA:	UNIDADES:	FORMATO:
2:1	mm	A4
SISTEMA:	FECHA:	PLANO:
	10/09/14	23/40

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
----------	--------	-------	-------

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

BASE 9-1

ESCALA:

1:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

24/40

DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

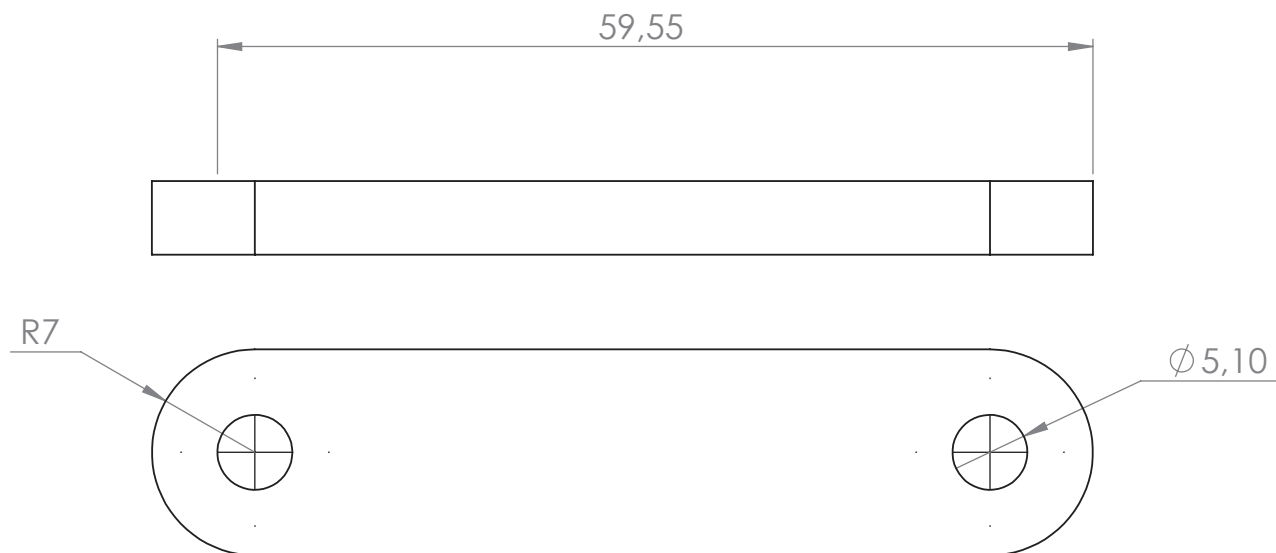
Luis Santiago Paris

REVISION

NOMBRE

FIRMA

FECHA



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

BASE 9-2

ESCALA:

2:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

25/40

DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

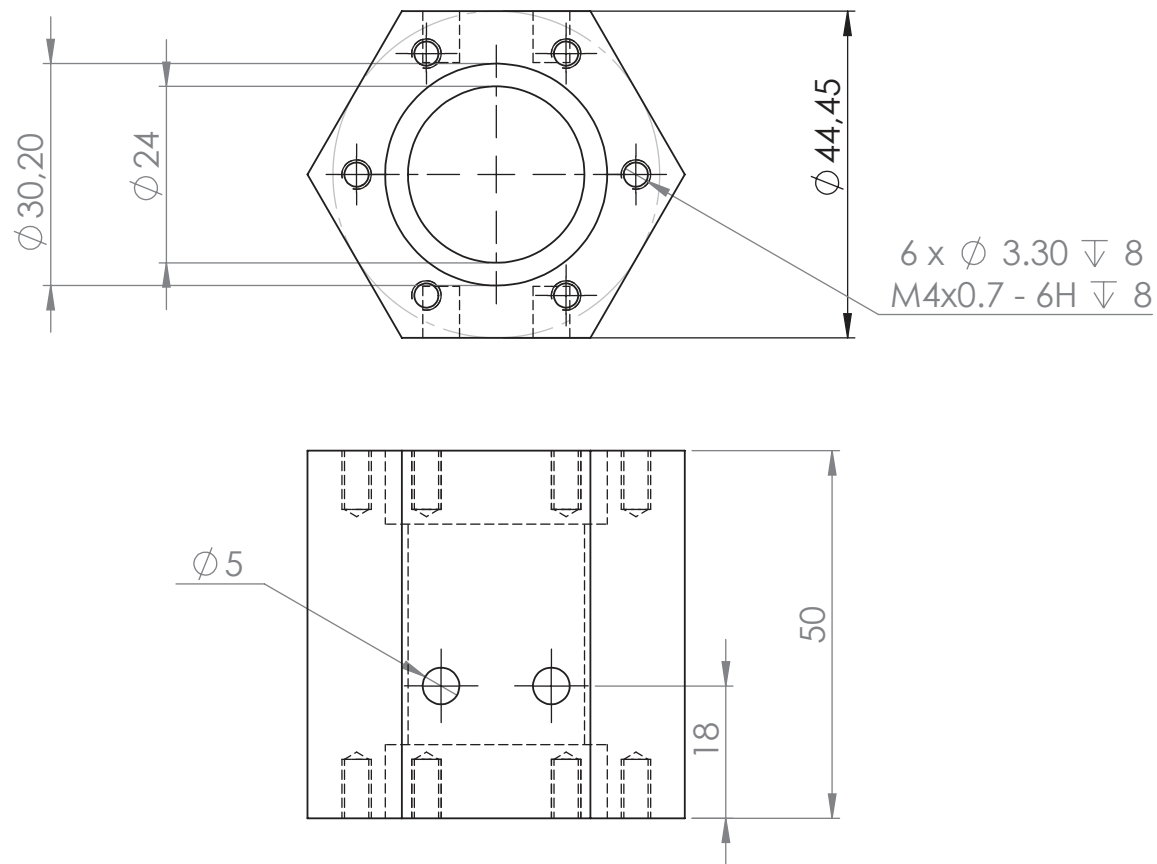
Luis Santiago Paris

REVISION

NOMBRE

FIRMA

FECHA



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

CHUMASERA 1-1

ESCALA:

1:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

26/40

REVISION

NOMBRE

FIRMA

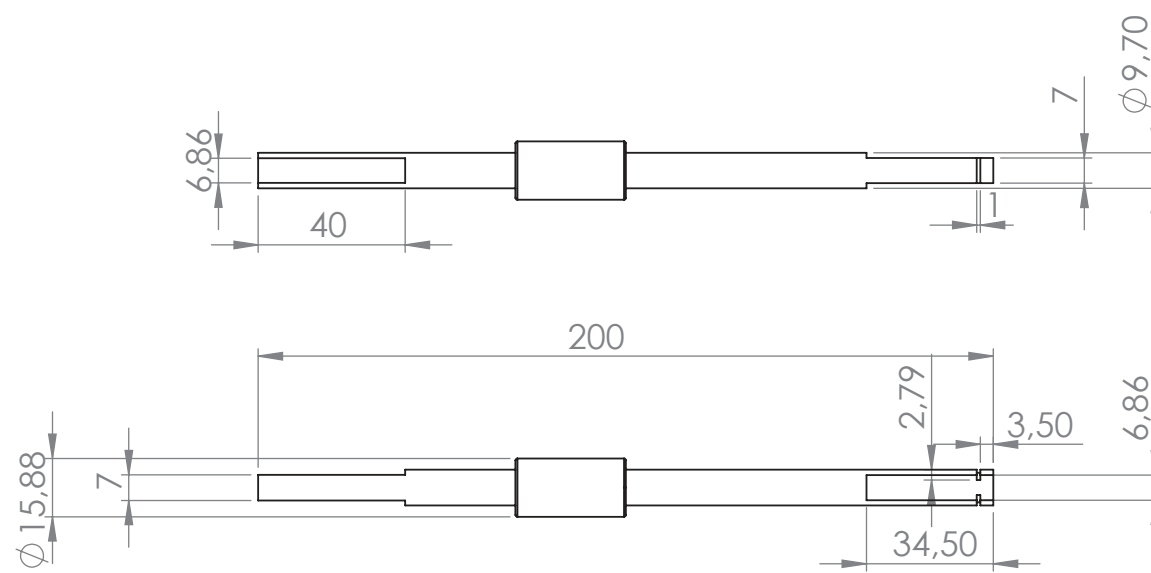
FECHA

DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:

EJE 1-1

ESCALA:

1:2

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

27/40

REVISION

NOMBRE

FIRMA

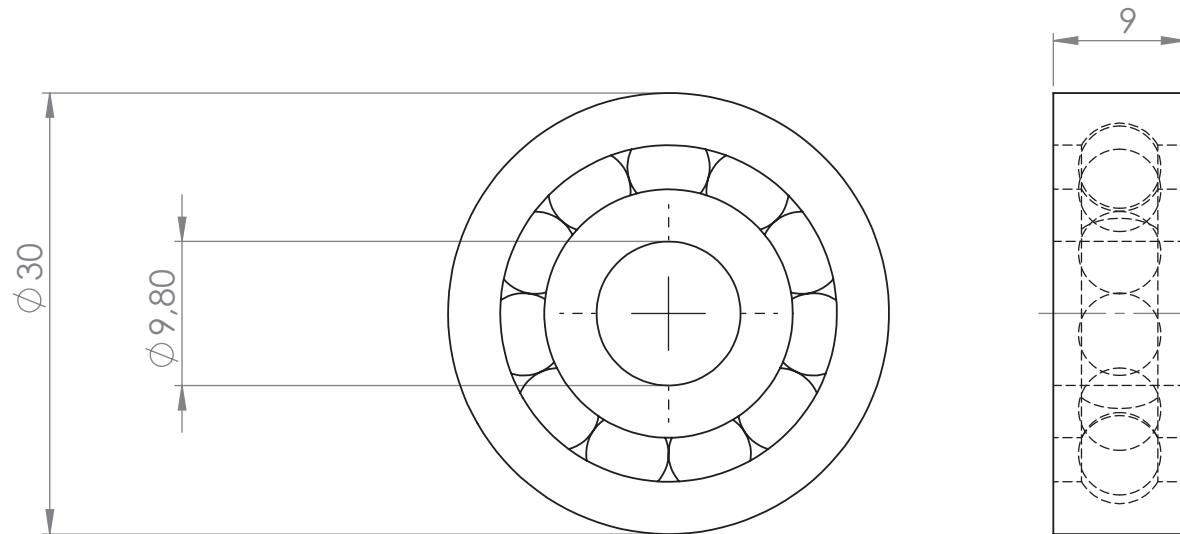
FECHA

DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
RODAMIENTO 1-1

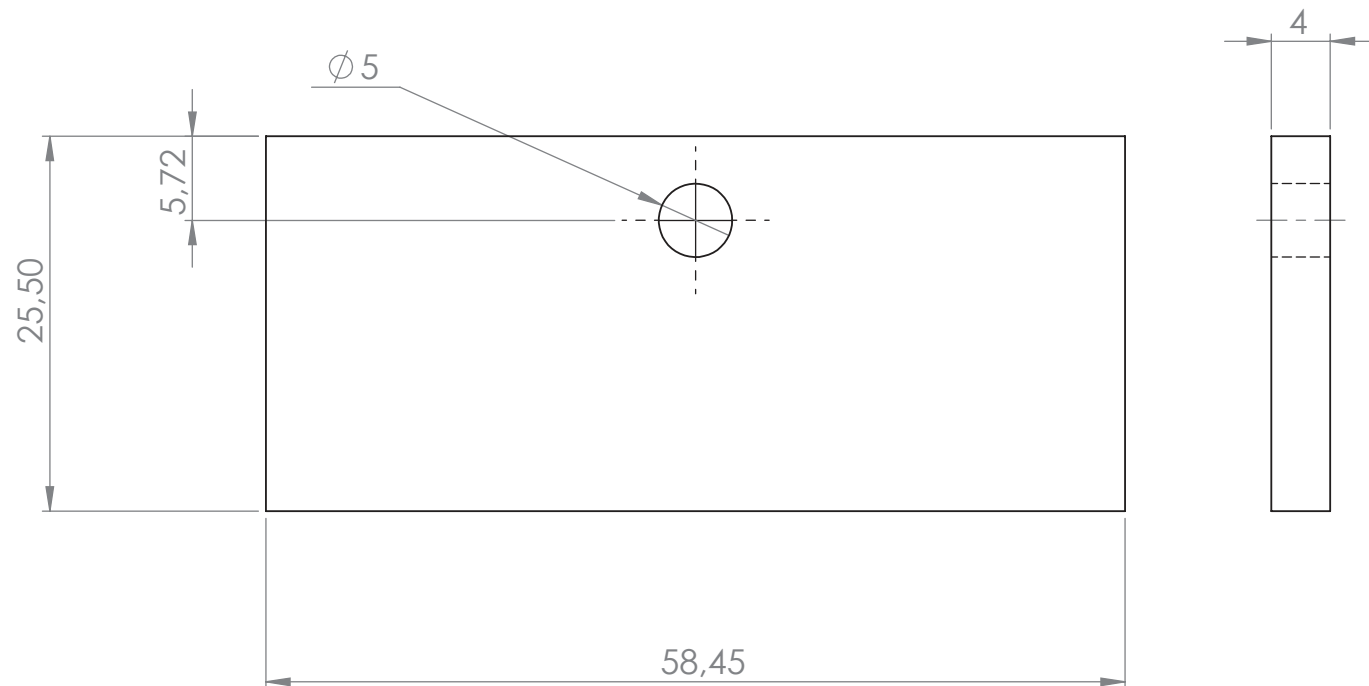
ESCALA: 2:1 UNIDADES: mm FORMATO: A4  
SISTEMA: FECHA: 10/09/14 PLANO: 28/40



REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris

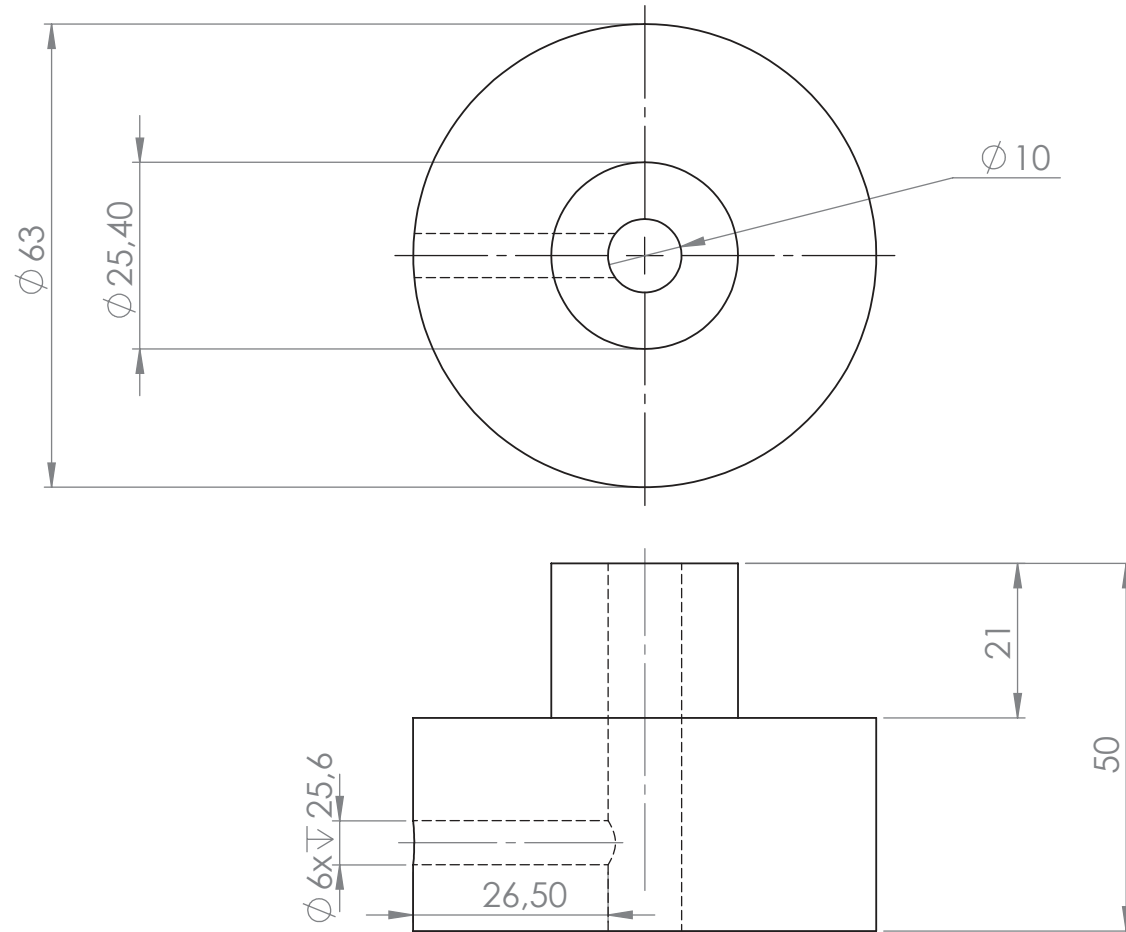


CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:					
Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia					
ASIGNATURA:					
Proyecto de grado					
PIEZA:					
BASE 11-1		REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA:	UNIDADES:	FORMATO:	DIBUJO:		
2:1	mm	A4	Santiago Giraldo		
SISTEMA:	FECHA:	PLANO:	APROBO:		
	10/09/14	29/40	Luis Santiago Paris		





CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

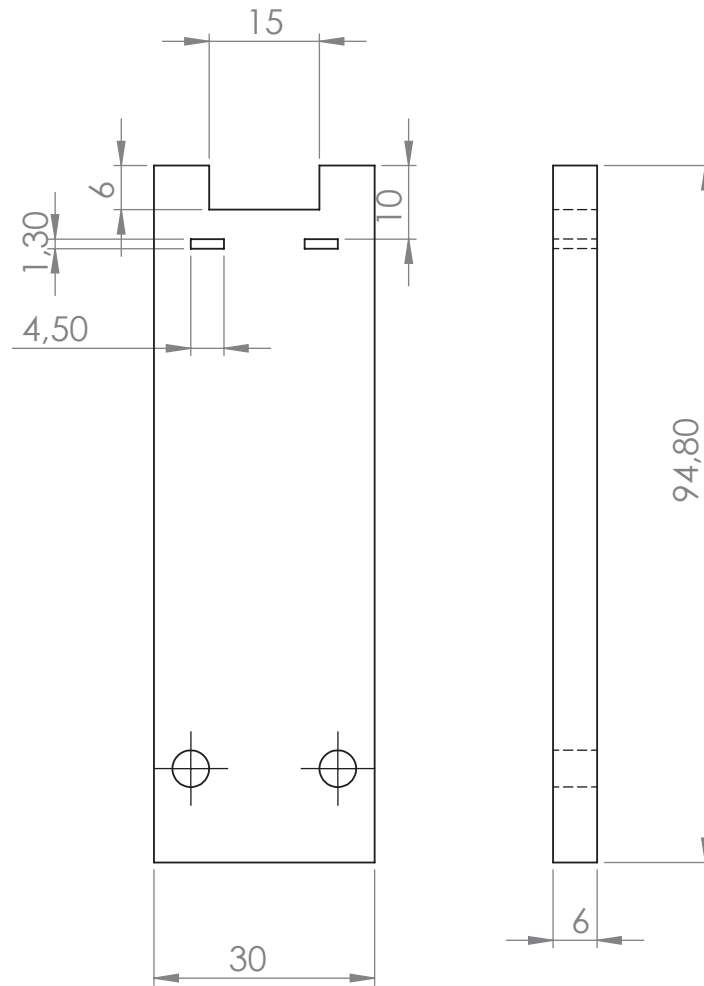
PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
VOLANTE 1-1


ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 30/40

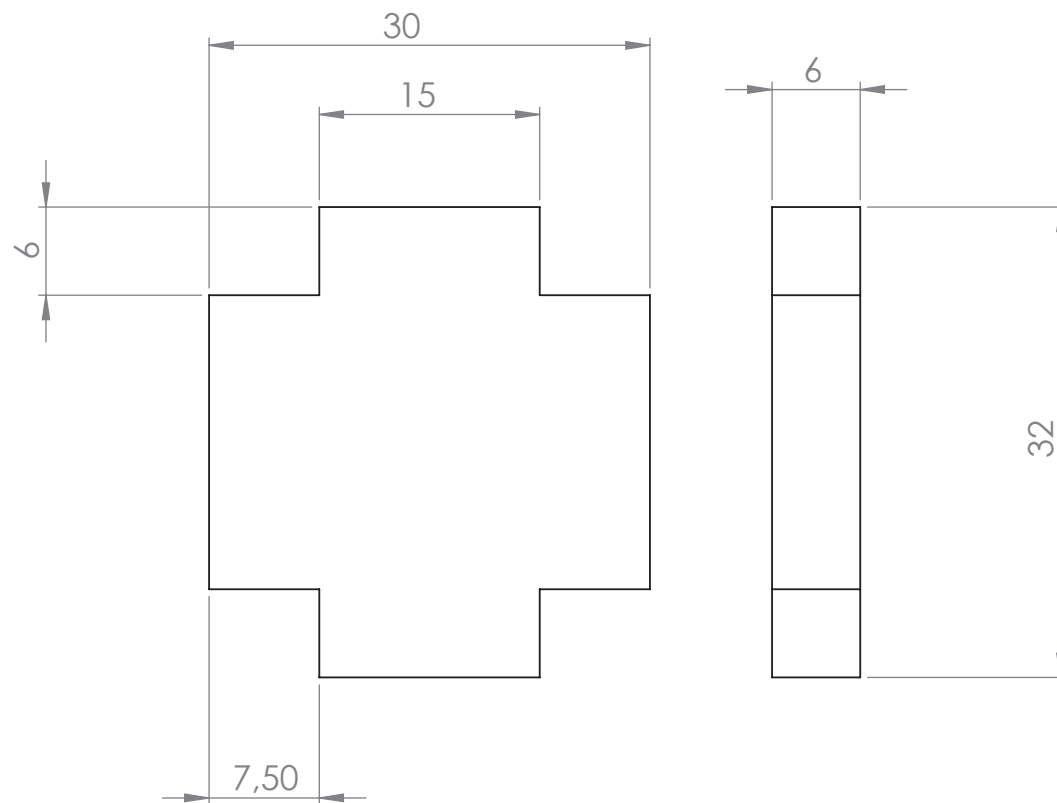
REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	Santiago Giraldo		
	Luis Santiago Paris		



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: BASE 12-1			REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	DIBUJO: Santiago Giraldo			
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 31/40	APROBO: Luis Santiago Paris			



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

COLUMNA 8-1

ESCALA:

2:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

32/40

DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

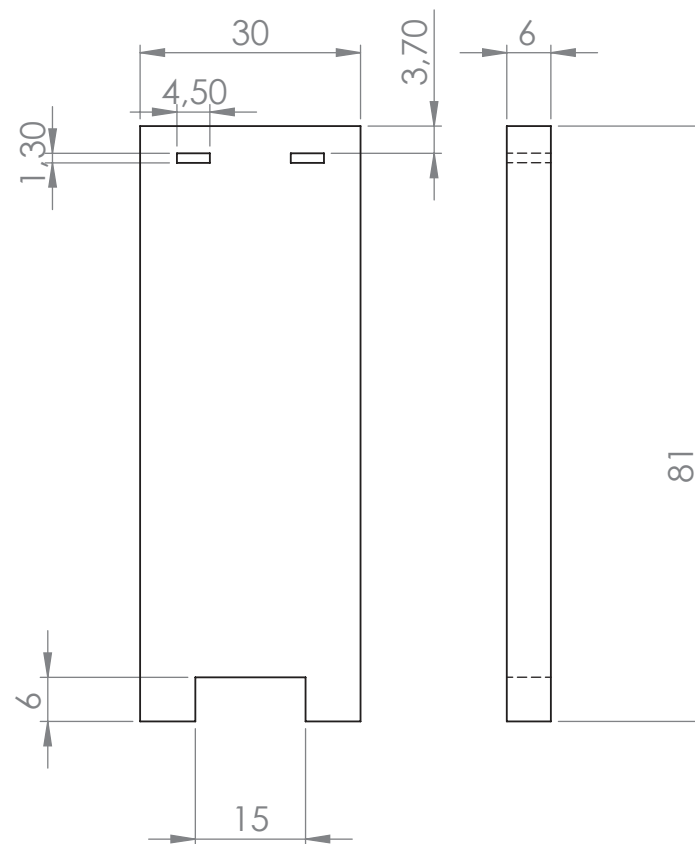
Luis Santiago Paris

REVISION

NOMBRE


FIRMA

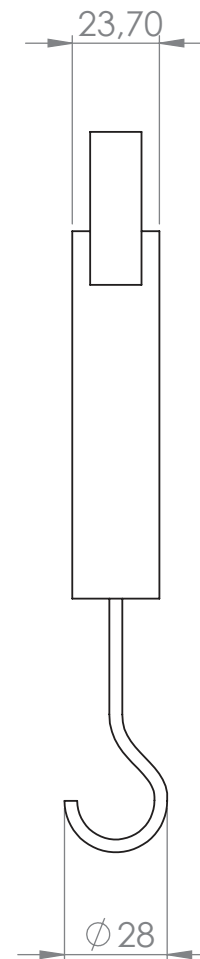
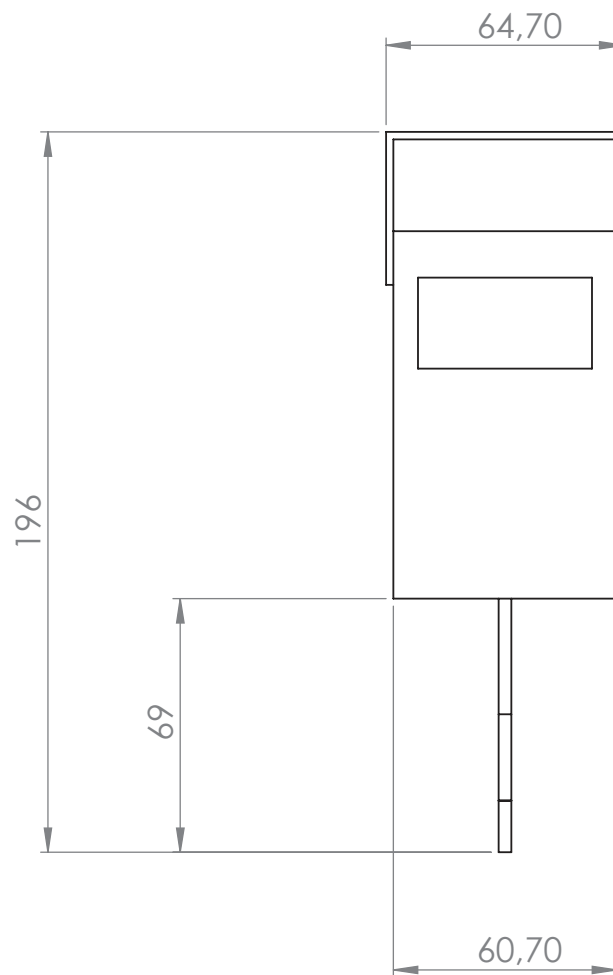
FECHA



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: BASE 12-2			REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	DIBUJO: Santiago Giraldo			
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 33/40	APROBO: Luis Santiago Paris			



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

DINAMOMETRO

ESCALA:

1:2

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

34/40

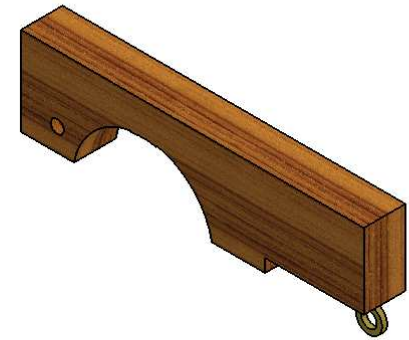
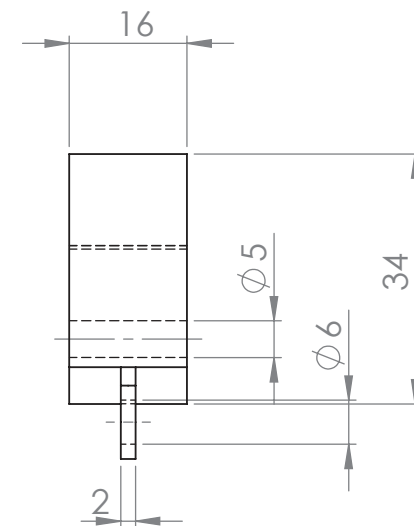
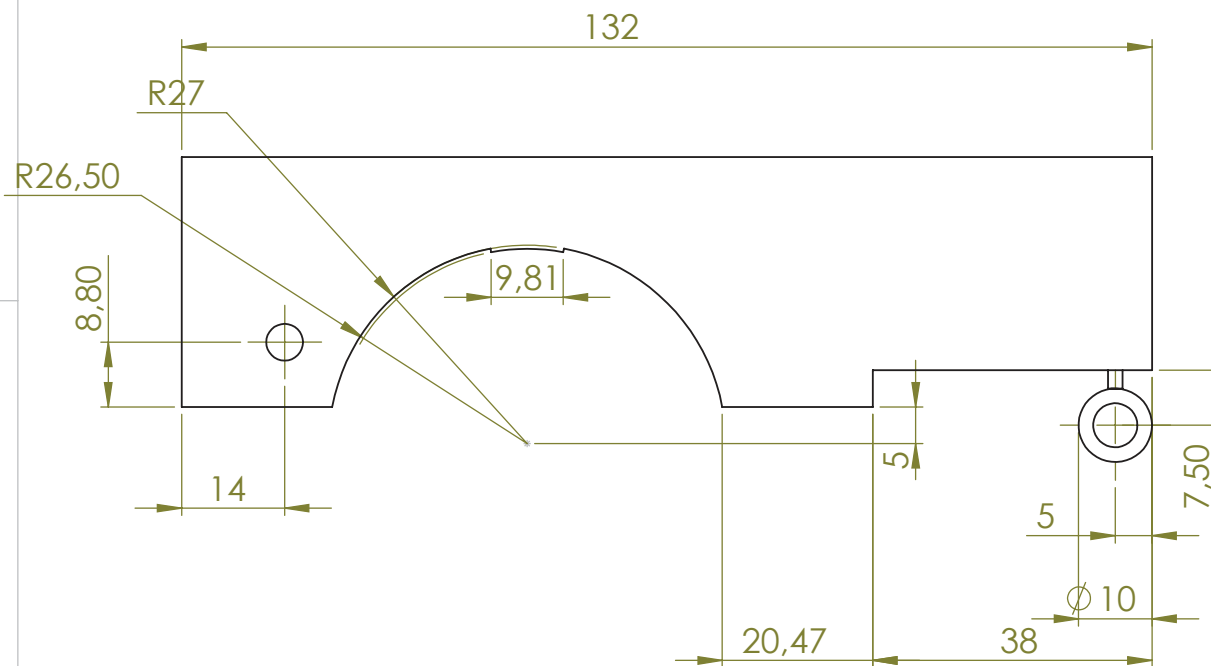
DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:

FRENO

ESCALA:

1:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

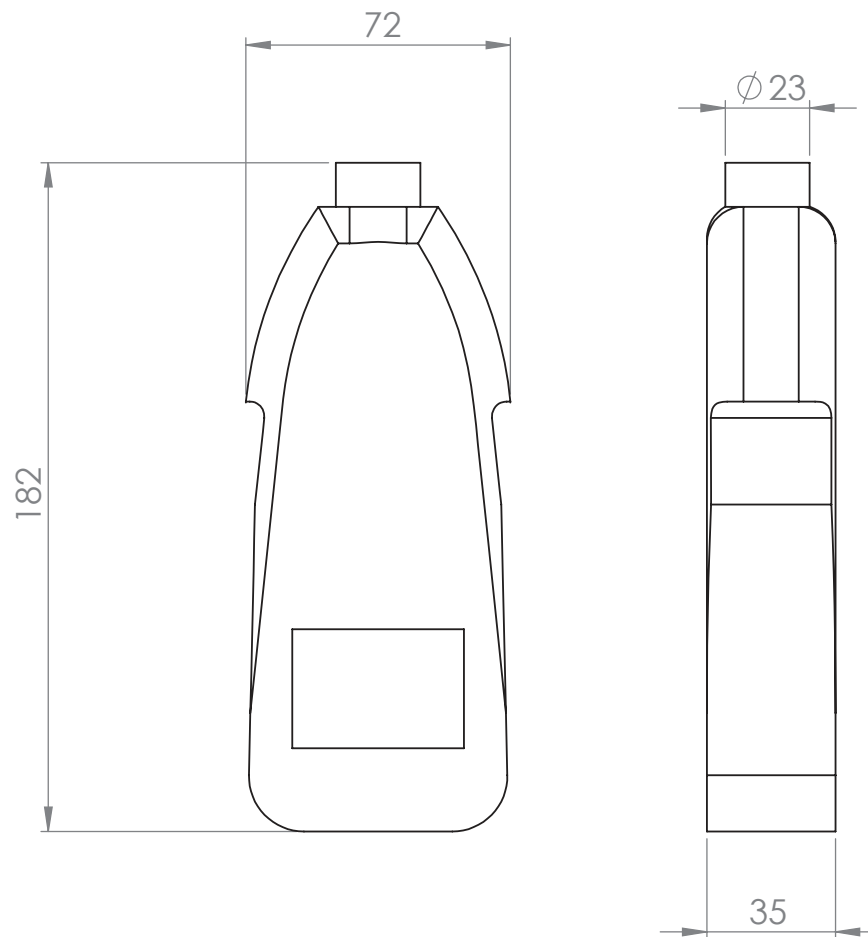
PLANO:

35/40

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO:  
Santiago Giraldo

APROBO:  
Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

TACOMETRO 1-1

ESCALA:

1:2

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

36/40

REVISION

NOMBRE

FIRMA

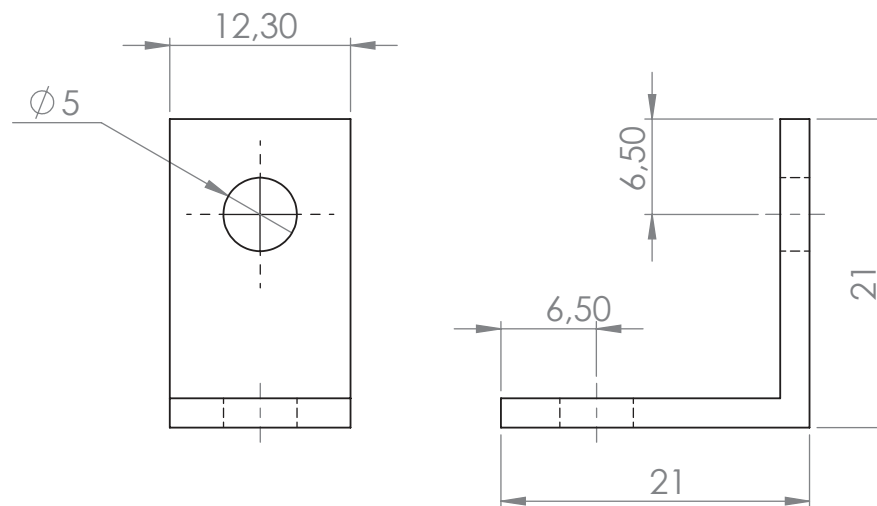
FECHA

DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:

UNION 1-1

ESCALA:

2:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4



SISTEMA:

10/09/14

PLANO:

37/40

REVISION

NOMBRE

FIRMA

FECHA

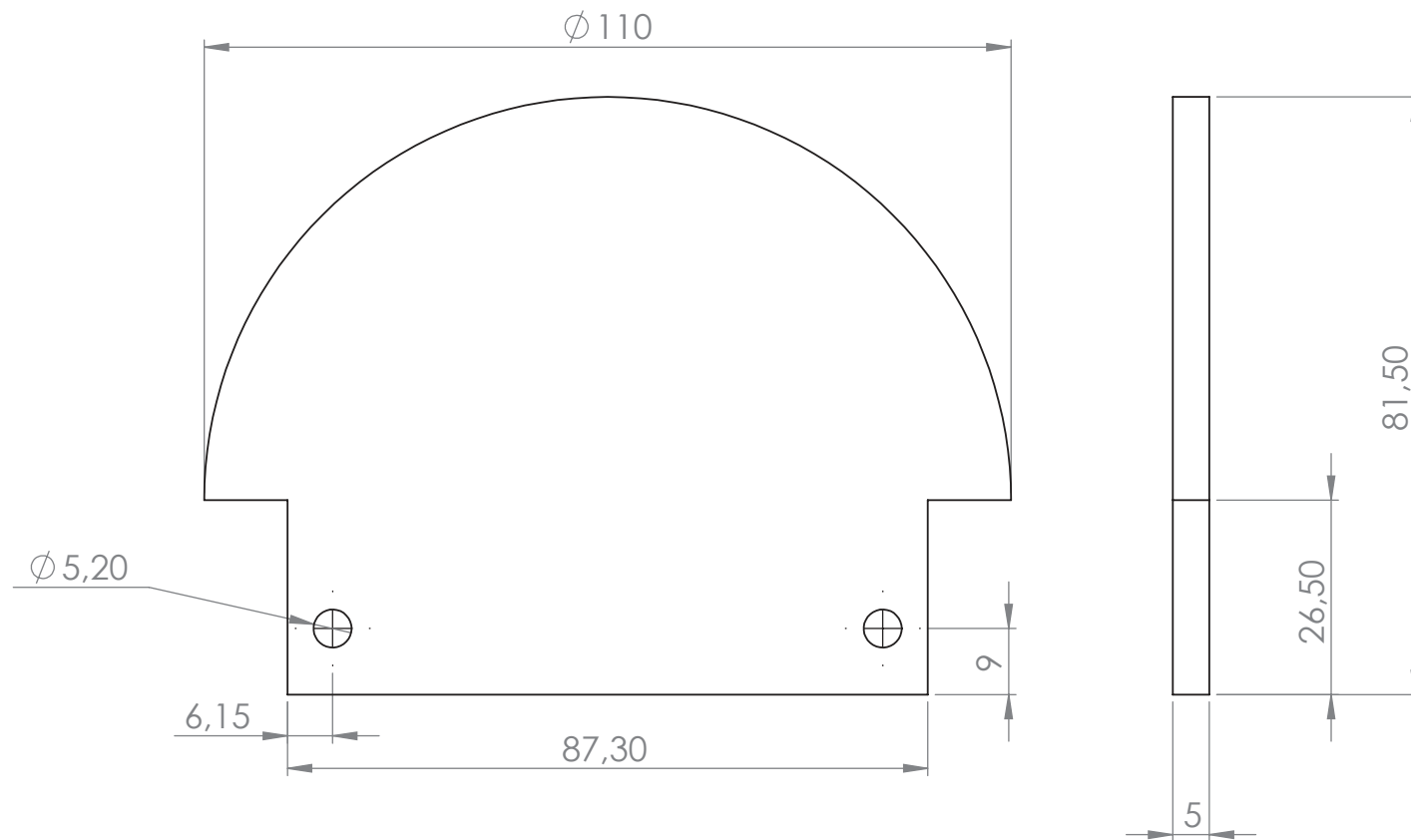
DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris





CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

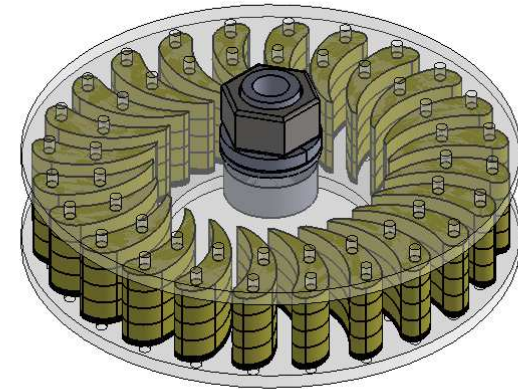
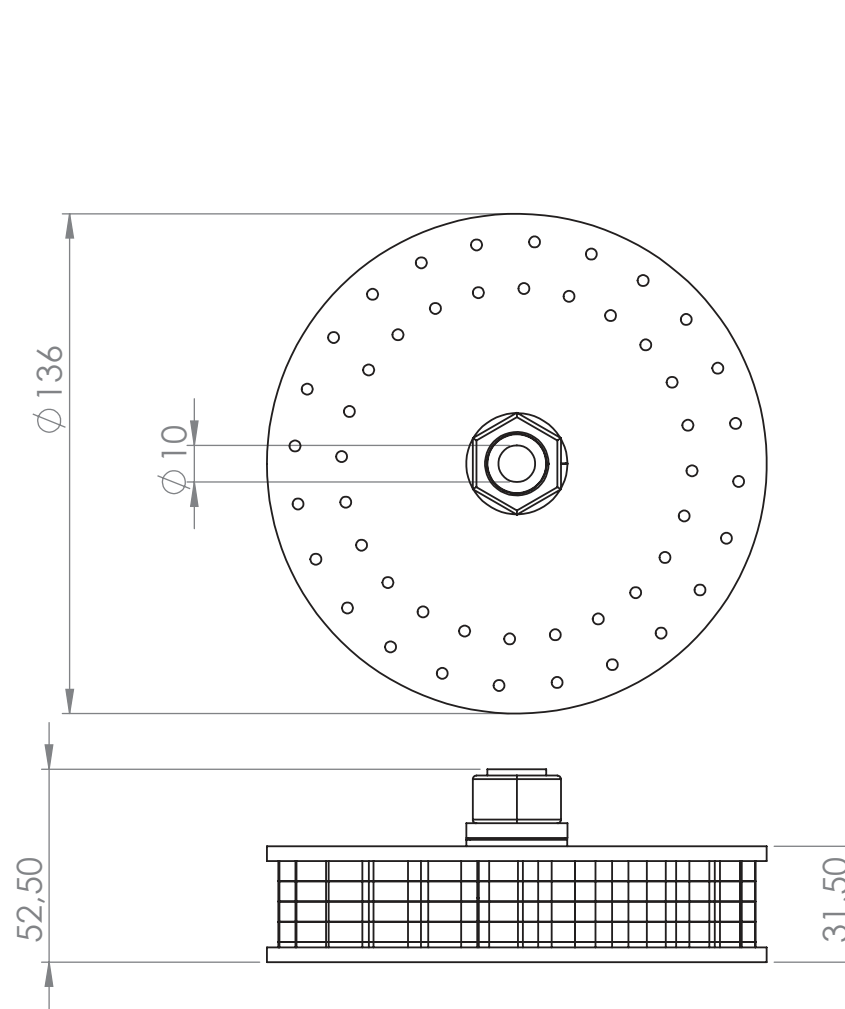
PIEZA:  
ESCUADRA 1-1

ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 38/40

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO:  
Santiago Giraldo

APROBO:  
Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

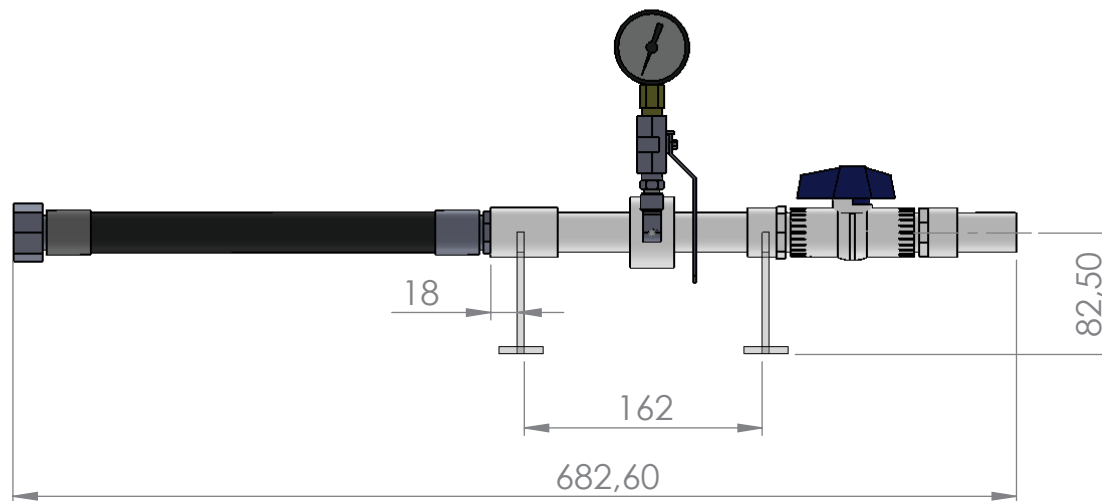
TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia  
ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
ENSAMBLE TURBINA 1-1

ESCALA: 2:1 UNIDADES: mm FORMATO: A4  
SISTEMA: FECHA: 10/09/14 PLANO: 29/40

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	Santiago Giraldo		
	Luis Santiago Paris		



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia  
ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
SISTEMA DE MEDISION DE PRESION 1-1

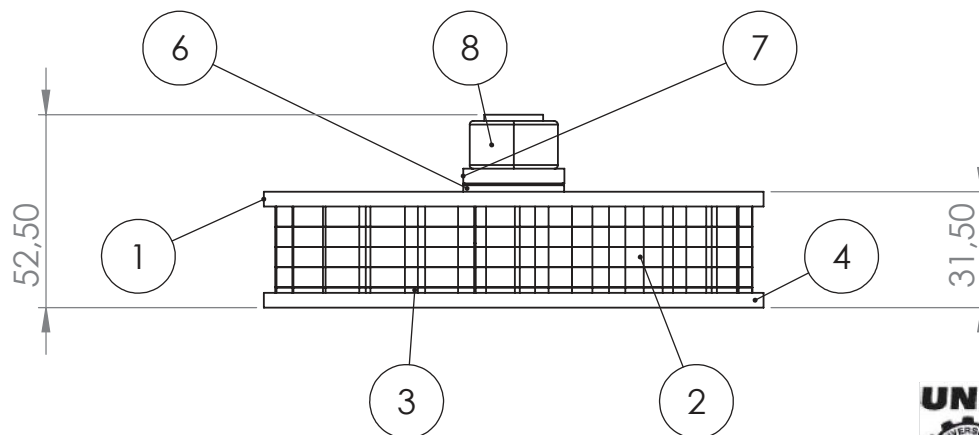
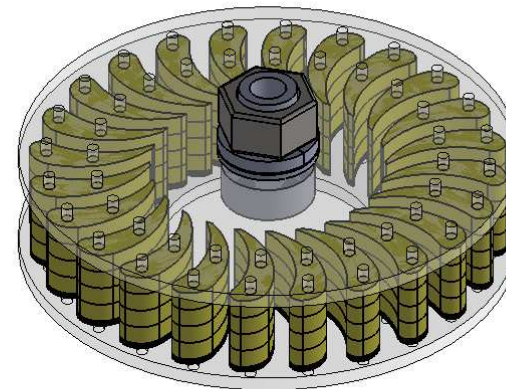
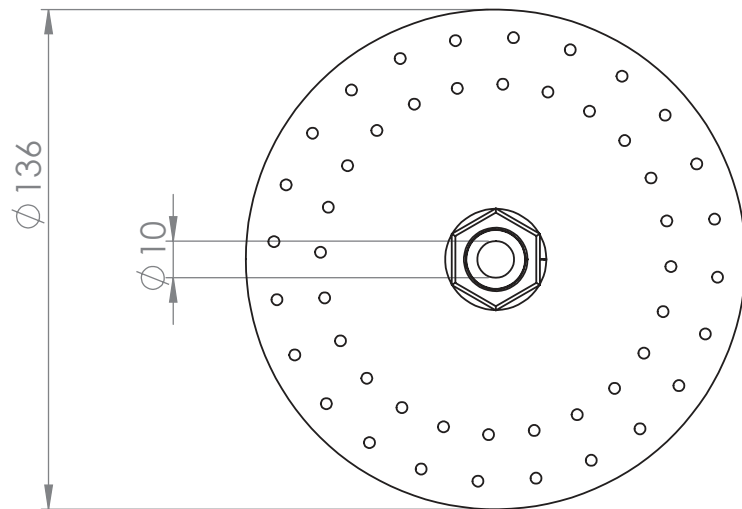
ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm	FORMATO: A4
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 29/40

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	TAPA SUPERIOR 1-1		
2	ALABE 1-1		96
3	ALABE 1-2		24
4	TAPA INFERIOR 1-1		
5	BUJE 1-		
6	ARANDELA PLANA 1-1		
7	ARANDELA DE PRESION 1-1		
8	TUERCA 1-1		



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
ENSAMBLE TURBINA 1-1

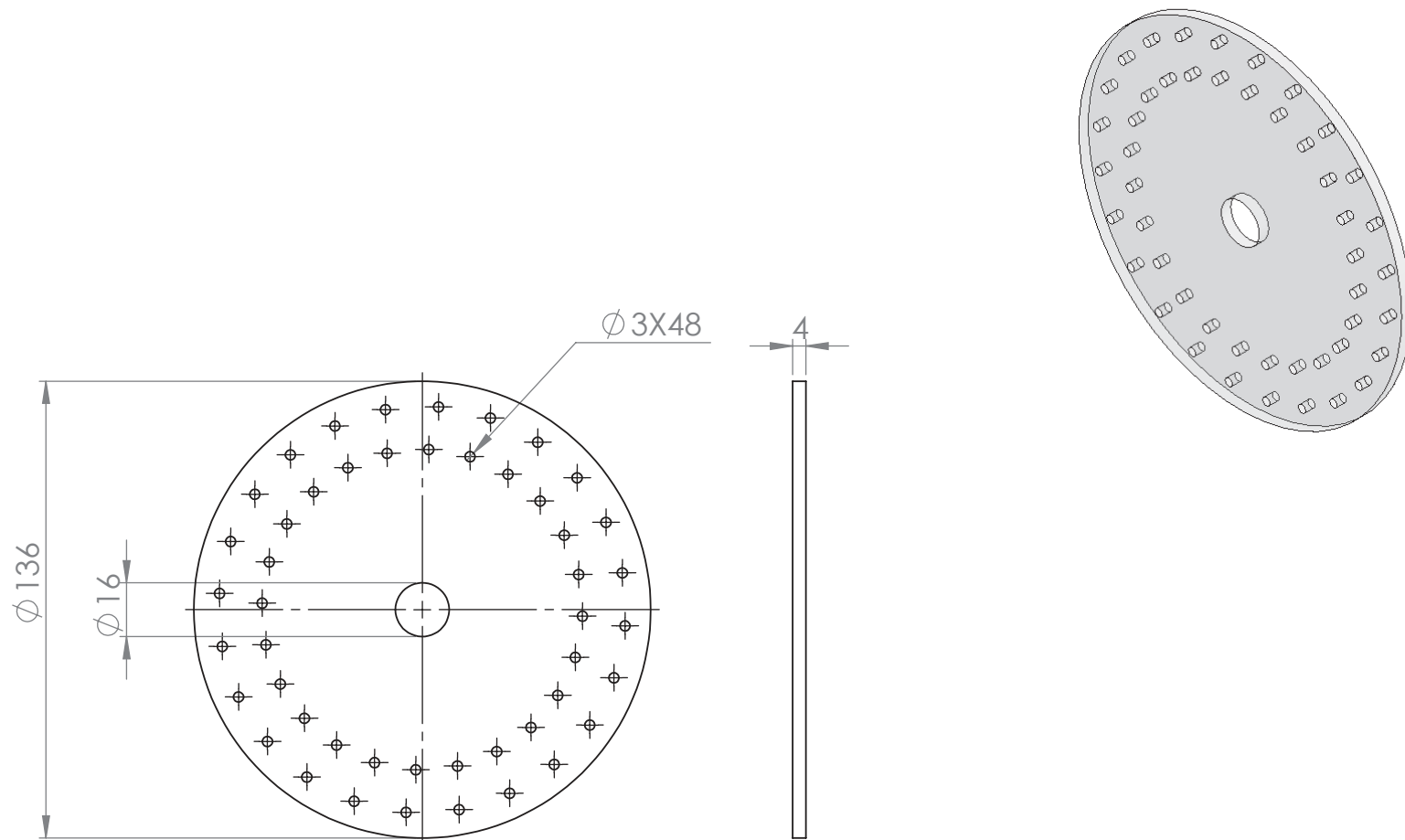
ESCALA: 1:2 UNIDADES: mm FORMATO: A4

SISTEMA: FECHA: 10/09/14 PLANO: 1/1

REVISION NOMBRE FIRMA FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

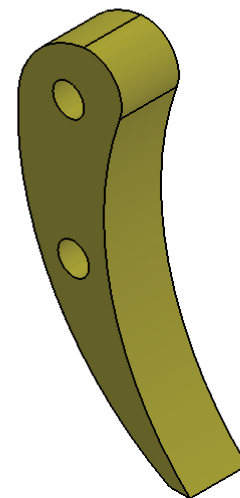
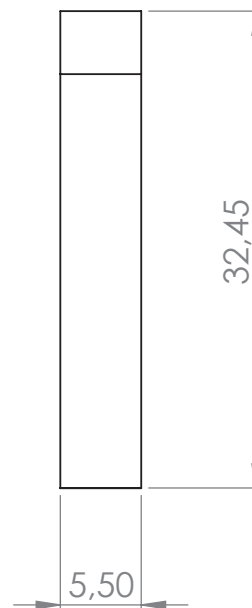
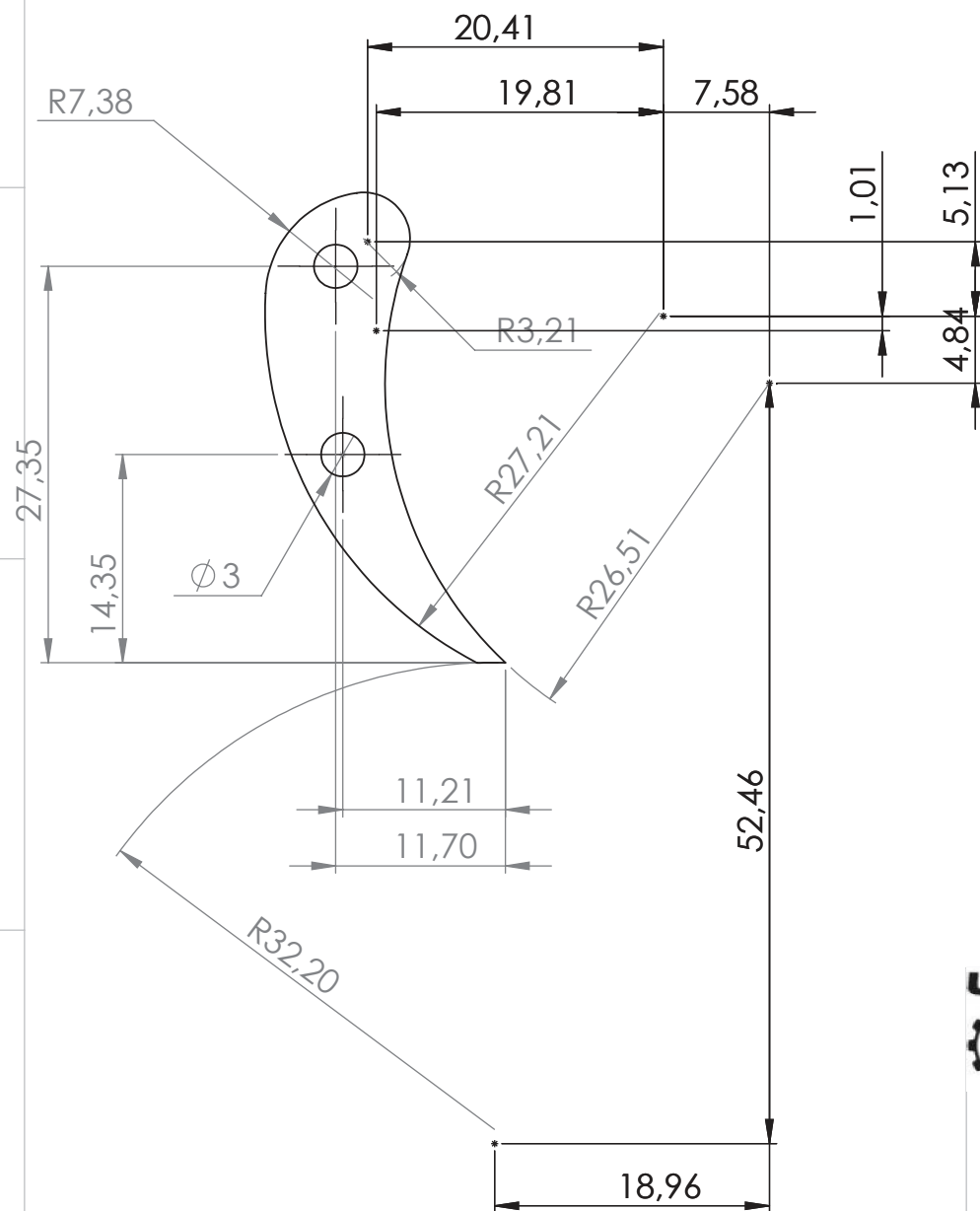
APROBO: Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: TAPA SUPERIOR 1-1			REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	DIBUJO: Santiago Giraldo			
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 1/8	APROBO: Luis Santiago Paris			



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

ALABE 1-1

ESCALA:

2:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

2/8

REVISION

NOMBRE

FIRMA

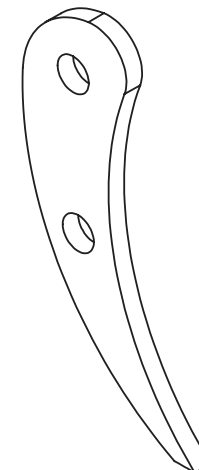
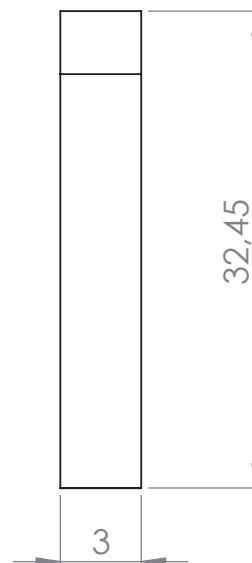
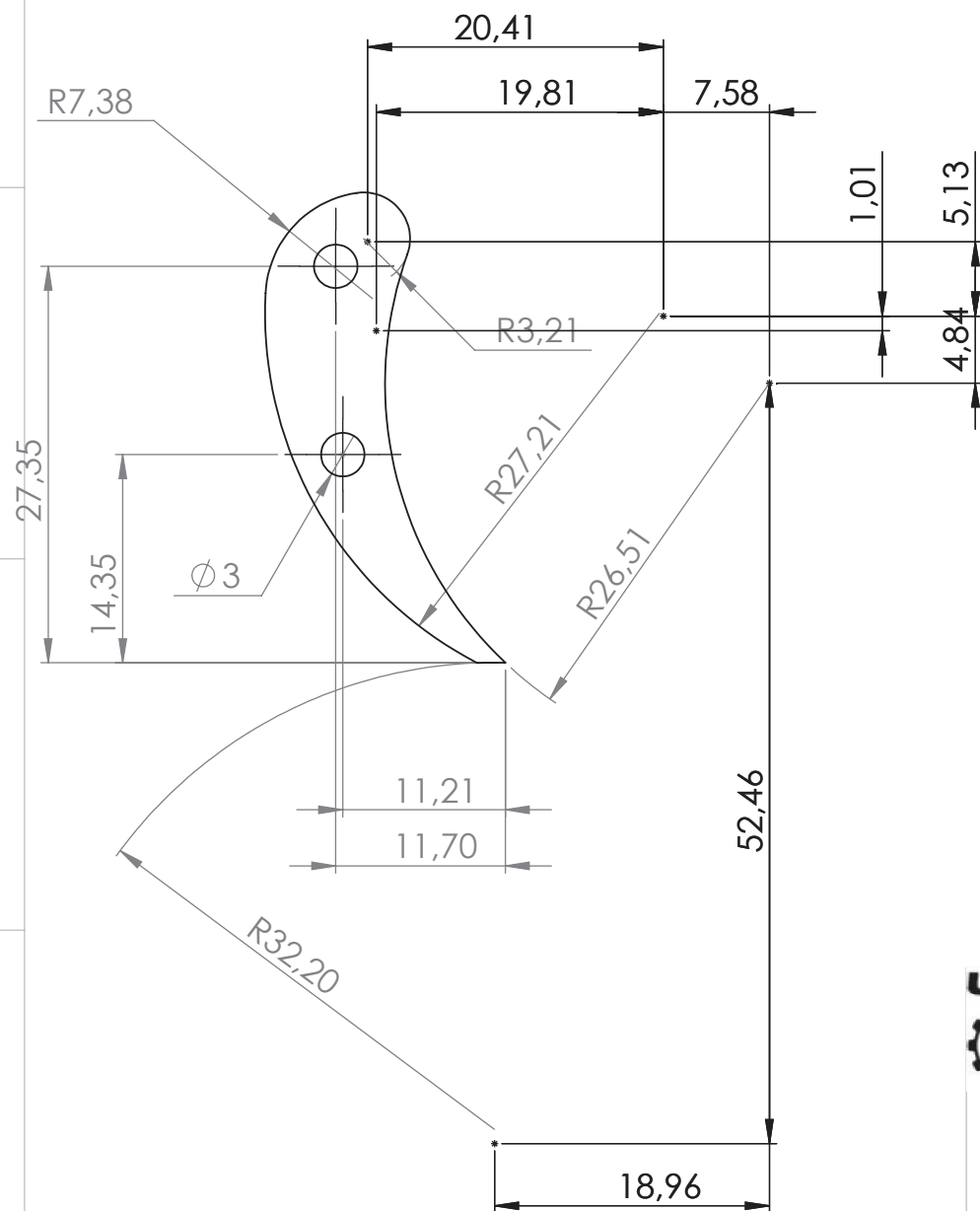
FECHA

DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

ALABE 1-2

ESCALA:

2:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

3/8

REVISION

NOMBRE

FIRMA

FECHA

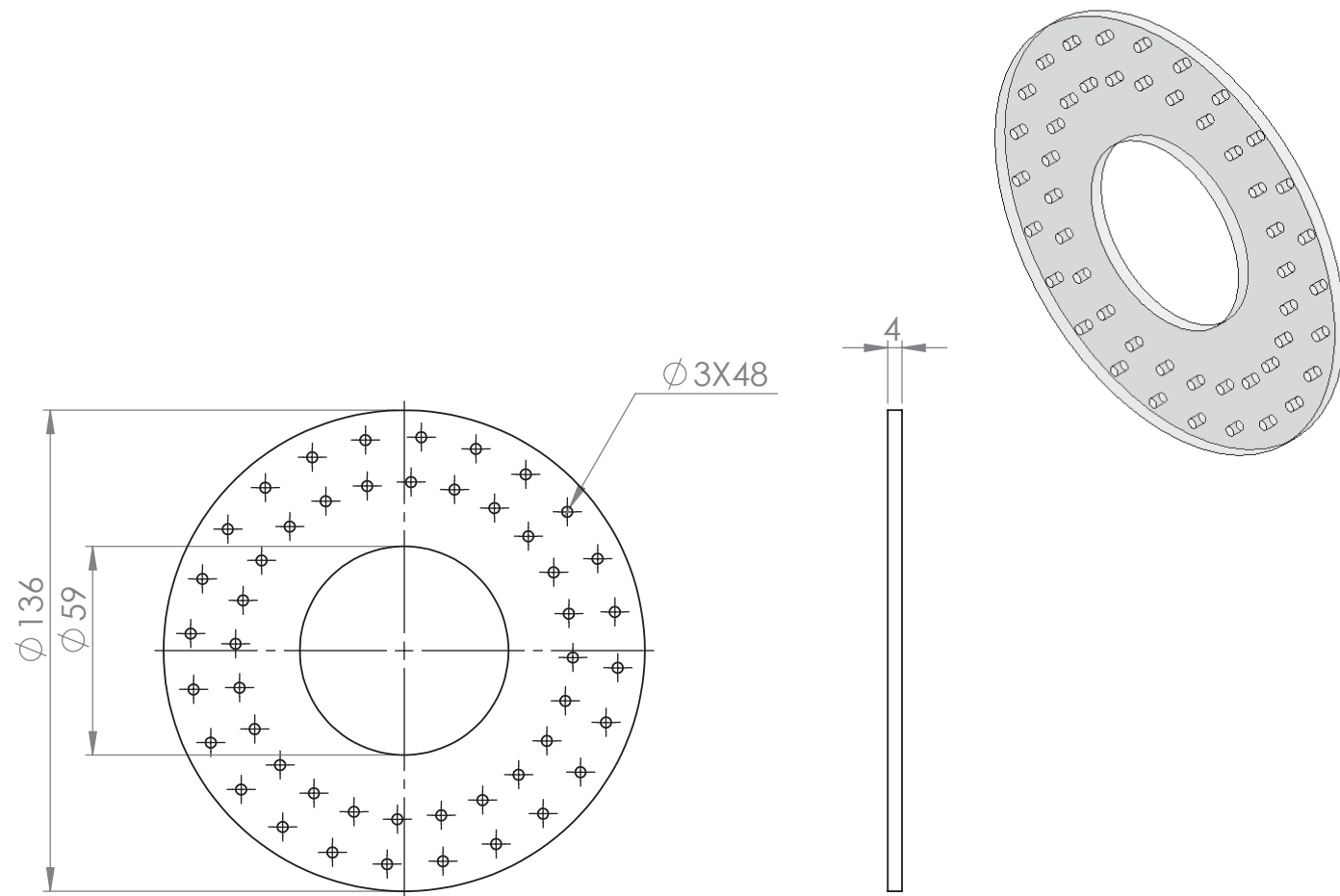
DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris

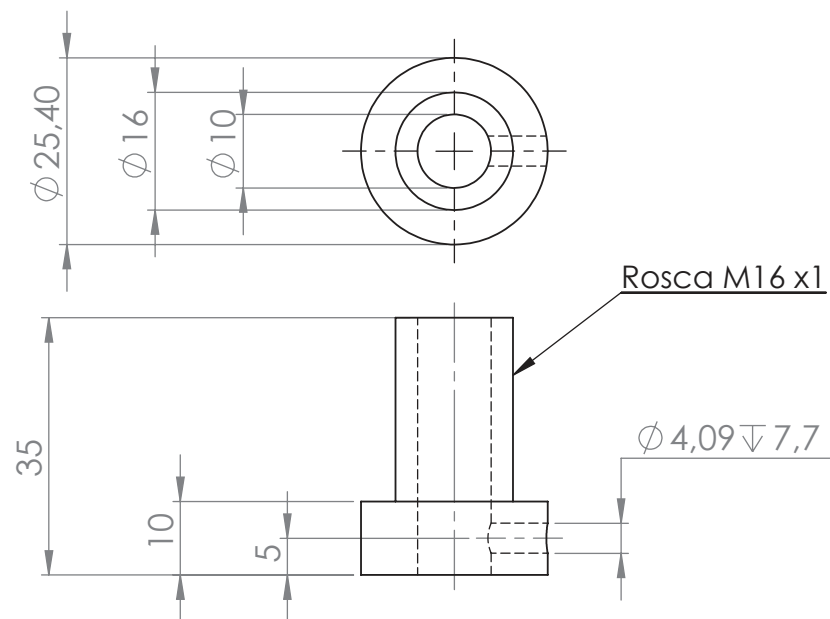




CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: TAPA INFERIOR 1-1			REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA: 1:2	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	DIBUJO: Santiago Giraldo			
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 4/8	APROBO: Luis Santiago Paris			



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

BUJE 1-1

ESCALA:

1:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

5/8

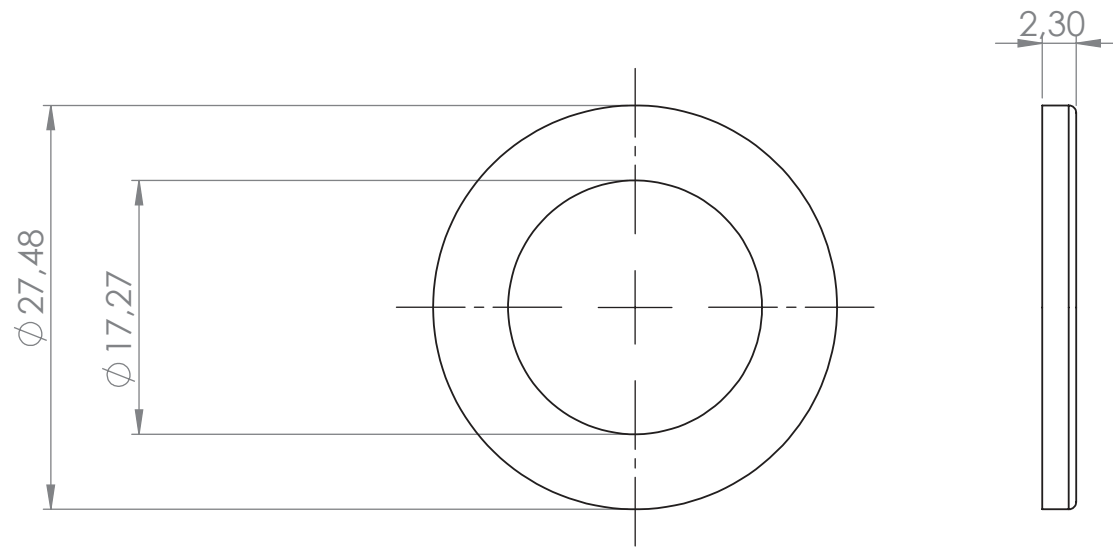
DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

ARANDELA PLANA 1-1

ESCALA:

2:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

6/8

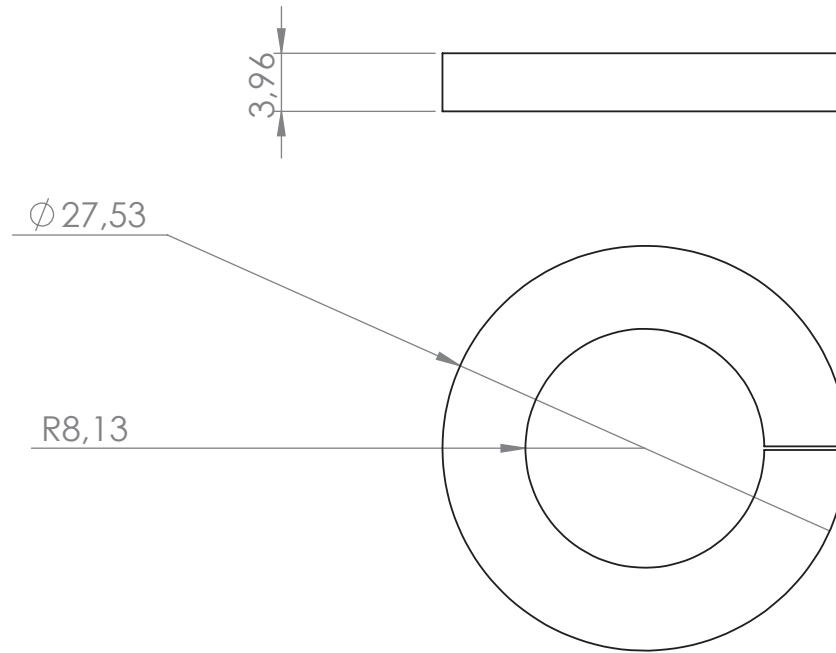
DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

ARANDELA DE PRESION 1-1

ESCALA:

2:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

7/8

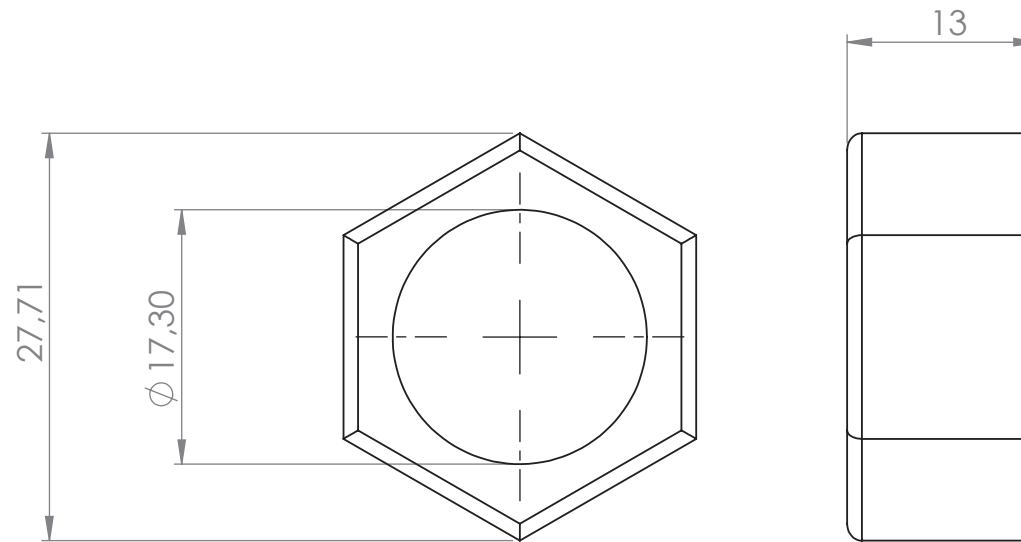
DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:  
TUERCA 1-1

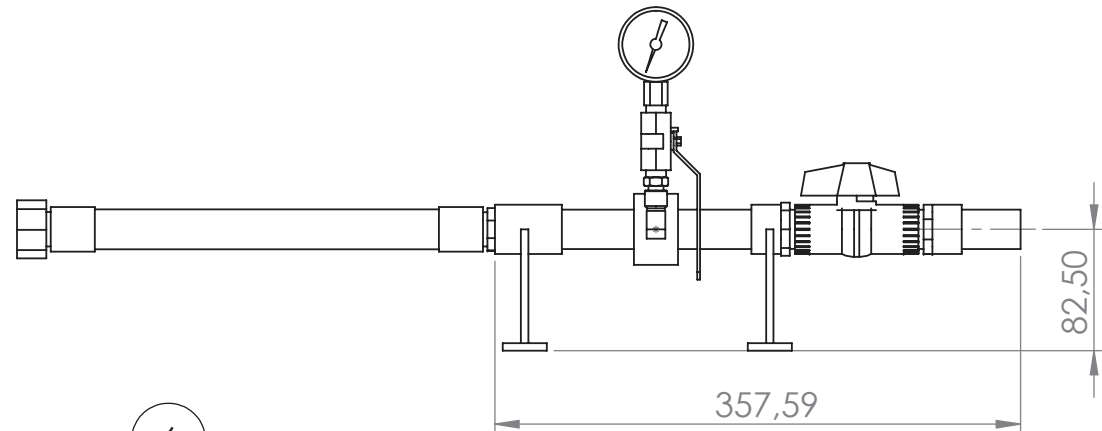
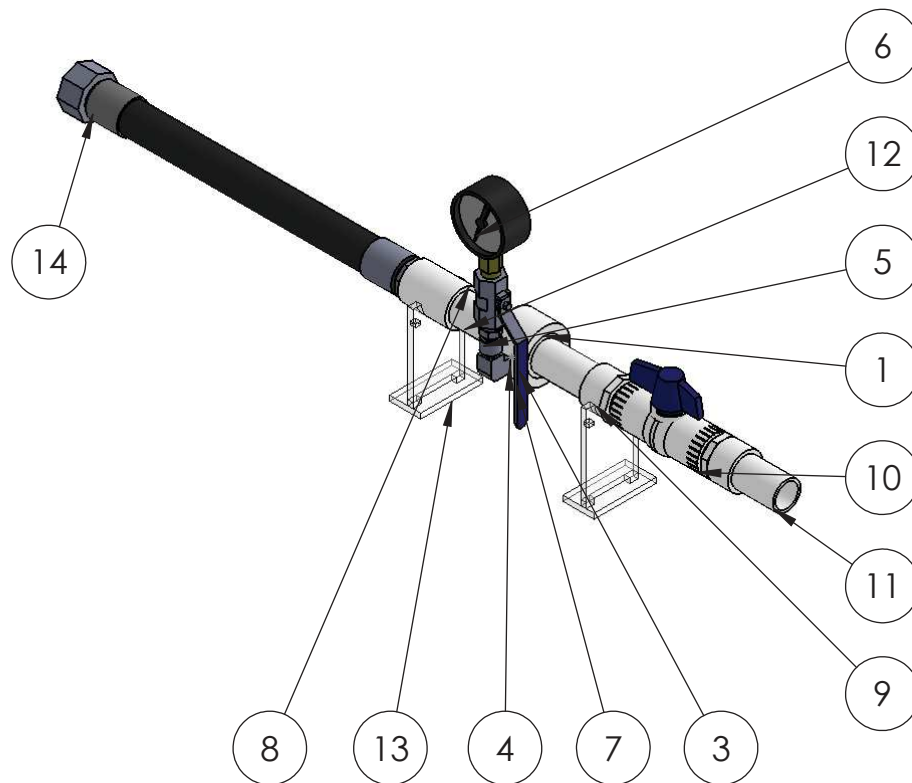
ESCALA: 2:1 UNIDADES: mm FORMATO: A4

SISTEMA: FECHA: 10/09/14 PLANO: 8/8

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	COLLAR DE DERIVACION 1-1		1
2	TUBERIA RDE 11 0,75 IN 1-1		1
3	COLLAR DE DERIVACION 1-2		1
4	CODO 0,125 IN 1-1		1
5	MANGUITO REDUCTOR 1-1		1
6	MANOMETRO 1-1		1
7	VALVULA BOLA 1-1		1
8	ADAPTADOR HEMBRA RDE 11 0,75 IN 1-1		1
9	ADAPTADOR MACHO RDE 11 0,75 IN 1-1		2
10	VALVULA BOLA 0,75 IN 1-1		1
11	TUBERIA RDE 11 0,75 IN 1-2		1
12	COLUMNA 9-1		2
13	BASE 13-1		2
14	MANGUERA 0,75 NPTF-NPTM 1-1		1



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

Sistema medicion presion

ESCALA:

1:3

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



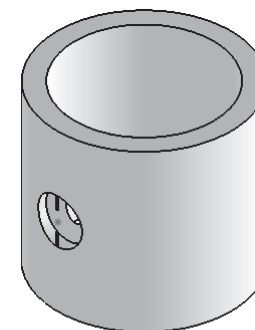
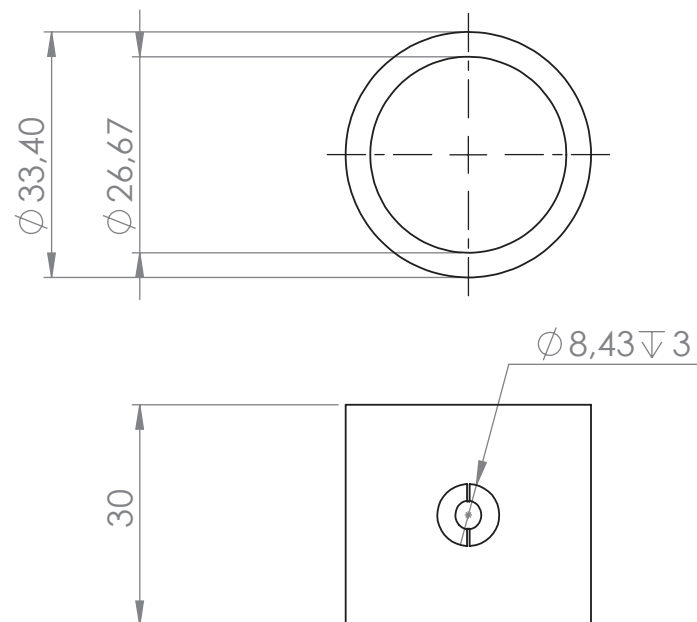
FECHA:

10/09/14

PLANO:

1/14

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	Santiago Giraldo		
APROBO:	Luis Santiago Paris		



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

PIEZA:

COLLAR DE DERIVACION 1-1

ESCALA: 1:1 UNIDADES: mm FORMATO: A4

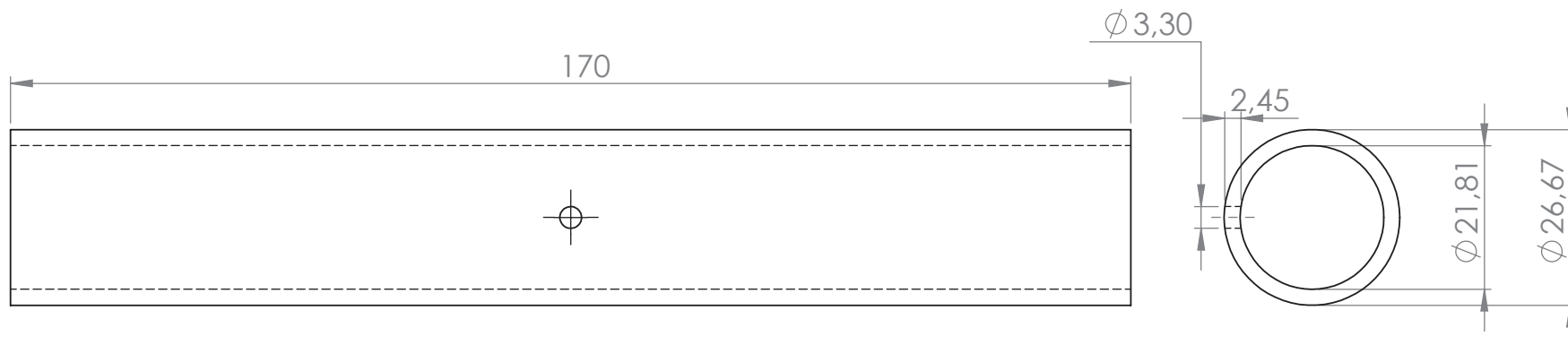
SISTEMA: FECHA: 10/09/14 PLANO: 1/14



REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

TUBERIA RDE 11 0,75 IN 1-1

ESCALA:

1:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

2/14

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

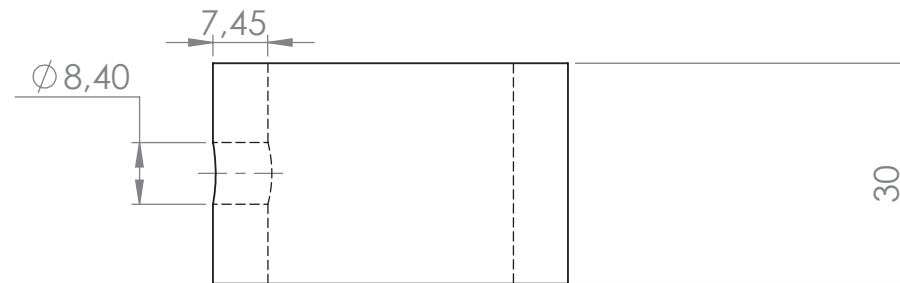
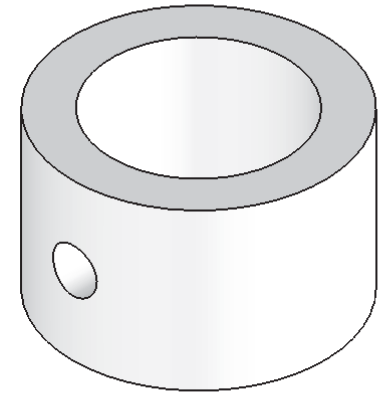
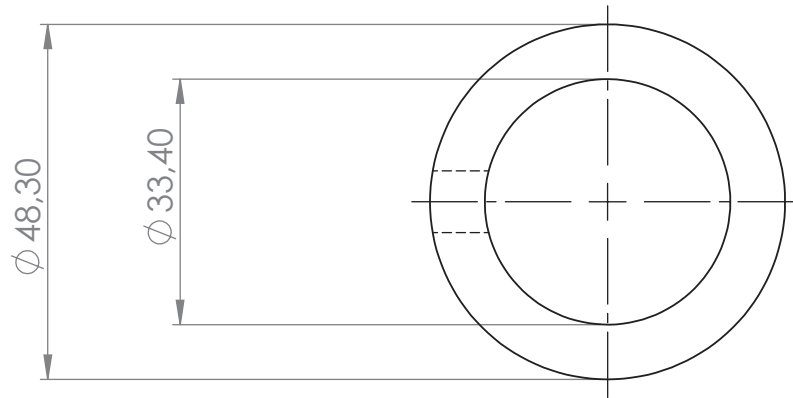
DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris





CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

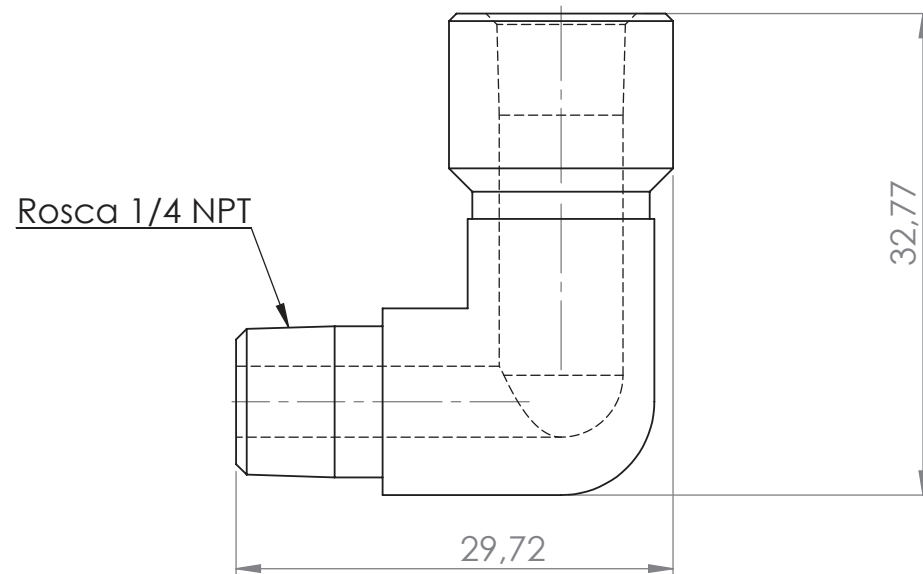
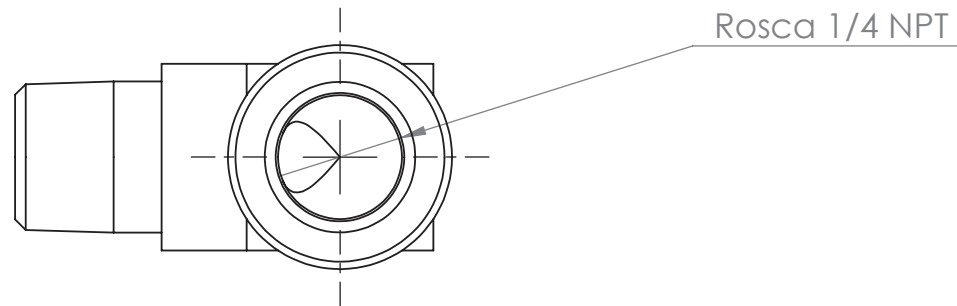
PIEZA:  
COLLAR DE DERIVACION 1-2

ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 3/14

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO:  
Santiago Giraldo

APROBO:  
Luis Santiago Paris



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:  
Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:  
Proyecto de grado

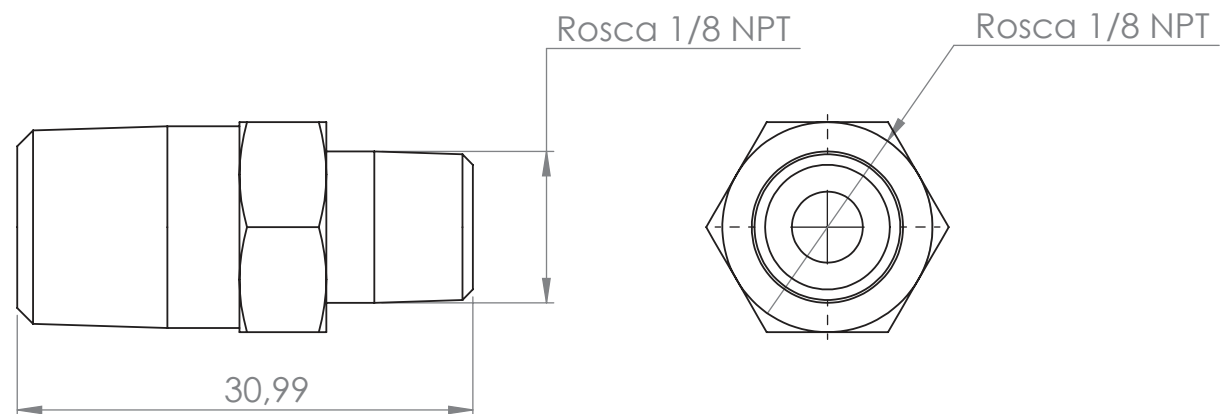
PIEZA:  
CODO 0,125 IN 1-1

ESCALA: 2:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 4/14

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris

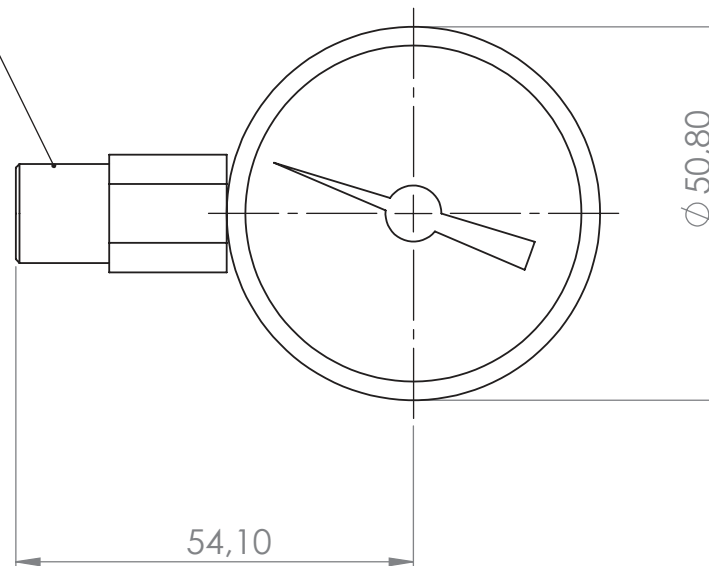


CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: MANGUITO REDUCTOR 1-1						
ESCALA: 2:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 5/14	DIBUJO: Santiago Giraldo			
			APROBO: Luis Santiago Paris			

Rosca 1/4 NPT



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

MANOMETRO 1-1

ESCALA:

1:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

6/14

DIBUJO:

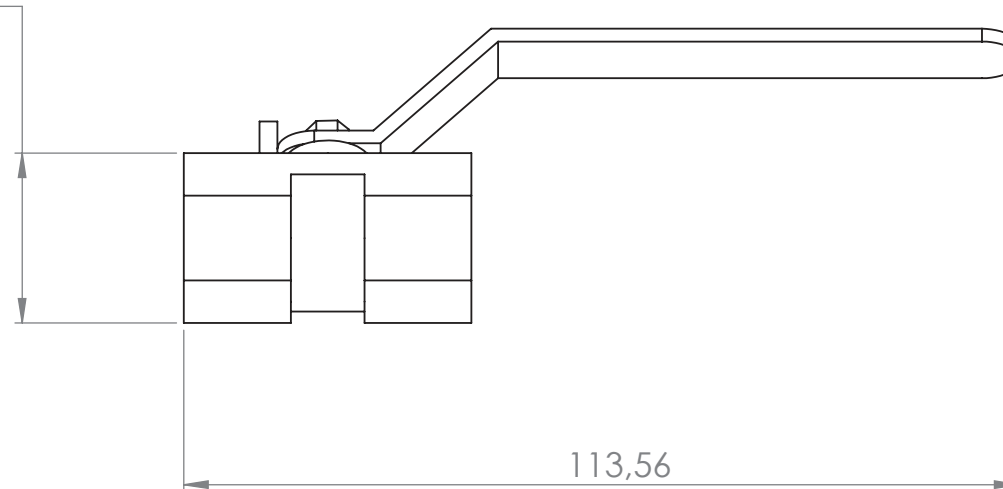
Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

Rosca 1/4 NPT



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

VALVULA BOLA 1-1

ESCALA:

1:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

7/14

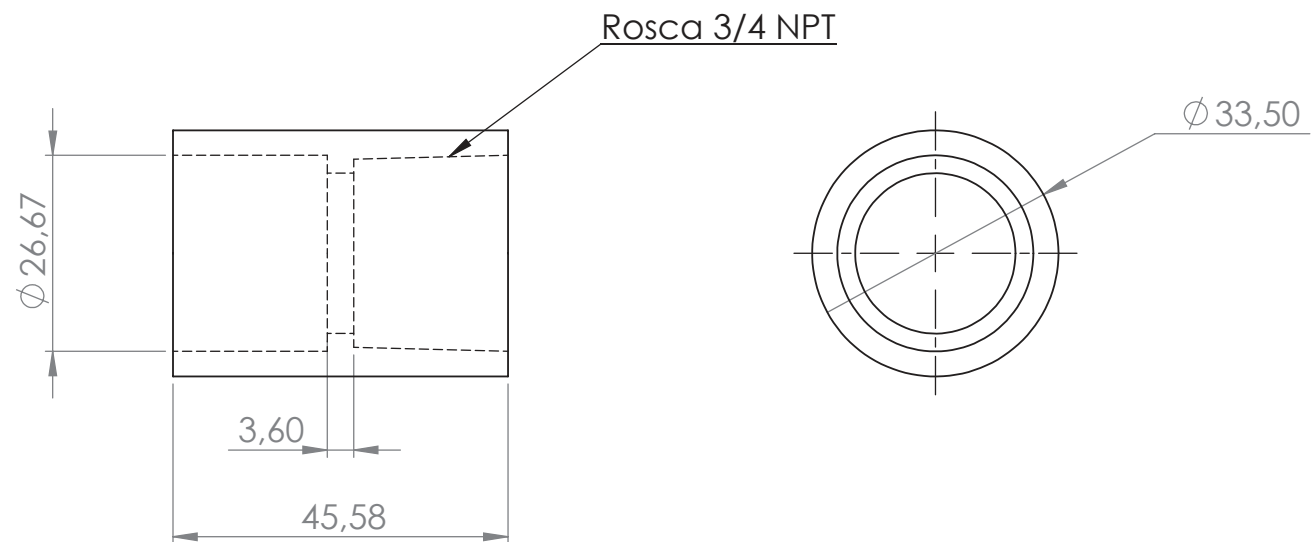
DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris

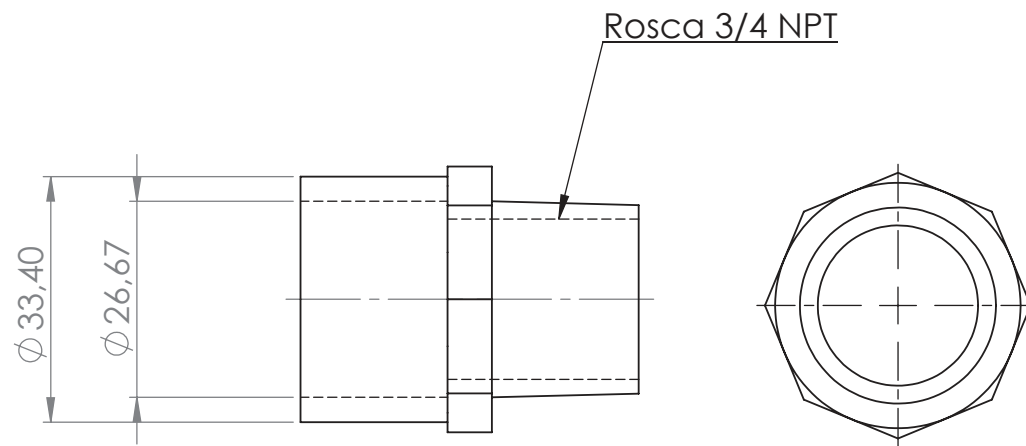
REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

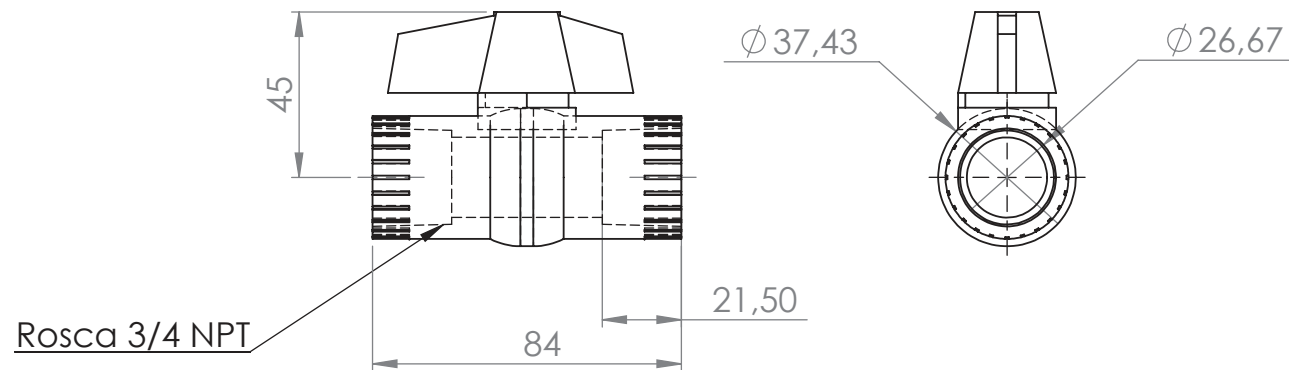
PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: ADAPTADOR HEMBRA RDE 11 0,75IN 1-1			REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	DIBUJO: Santiago Giraldo			
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 8/14	APROBO: Luis Santiago Paris			



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: ADAPTADOR MACHO RDE 11 0,75IN 1-1						
ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJO: Santiago Giraldo						
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 9/14	APROBO: Luis Santiago Paris			



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

VALVULA BOLA 0.75 IN 1-1

ESCALA:

1:2

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

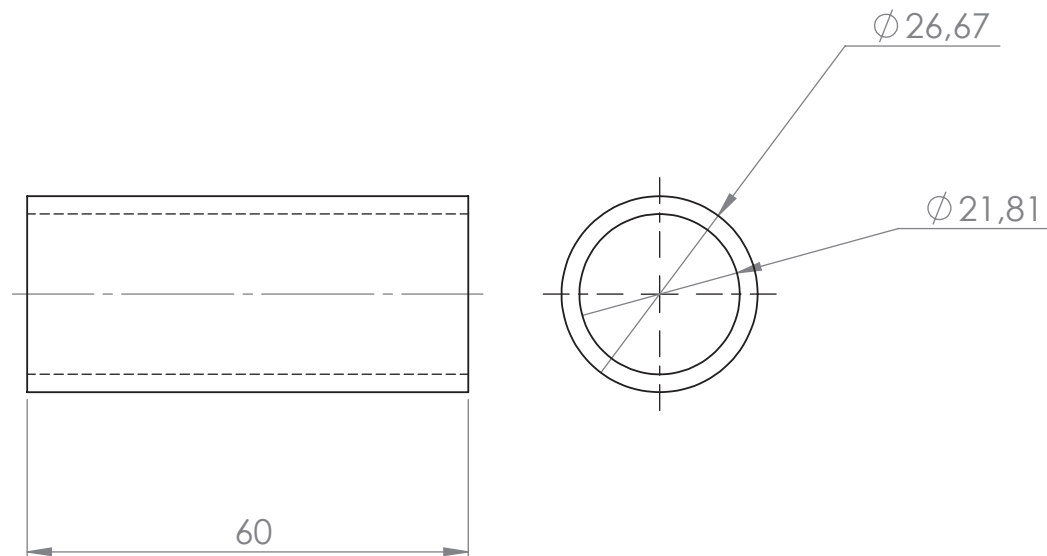
10/14

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA

DIBUJO: Santiago Giraldo

APROBO: Luis Santiago Paris

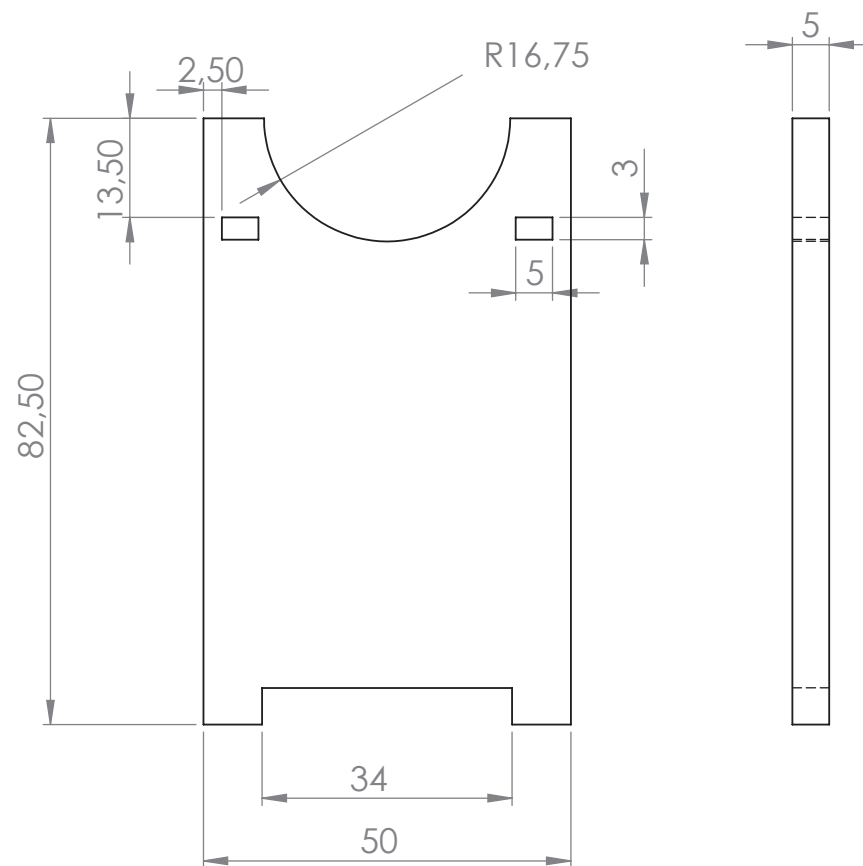




CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO: Prueba de una microturbina Michell-Banki de baja potencia						
ASIGNATURA: Proyecto de grado						
PIEZA: TUBERIA RDE 11 0,75 IN 1-2			REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ESCALA: 1:1	UNIDADES: mm	FORMATO: A4	DIBUJO: Santiago Giraldo			
SISTEMA: 	FECHA: 10/09/14	PLANO: 11/14	APROBO: Luis Santiago Paris			



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

COLUMNA 9-1

ESCALA:

2:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

12/14

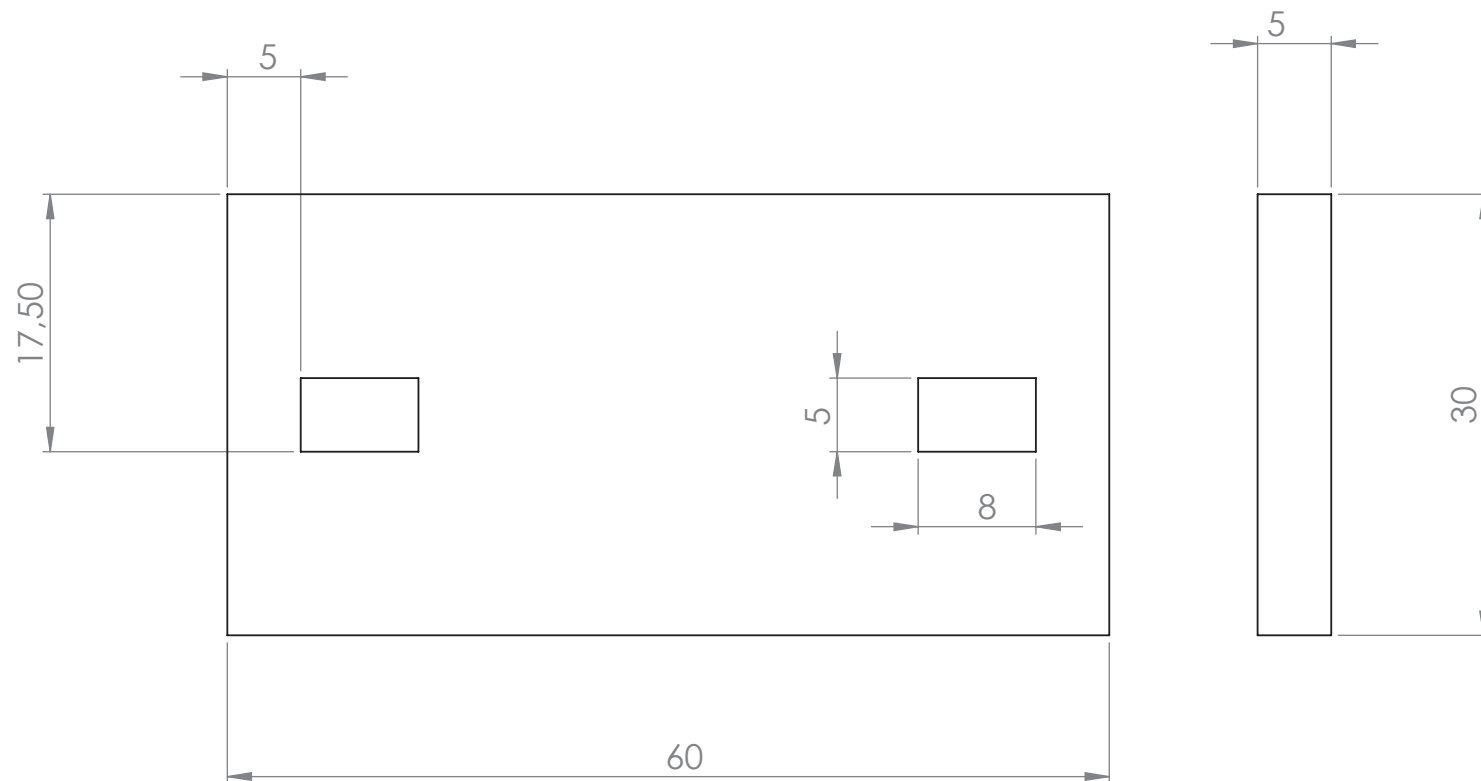
DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris

REVISION	NOMBRE	FIRMA	FECHA



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

BASE 13-1

ESCALA:

2:1

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

13/14

DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

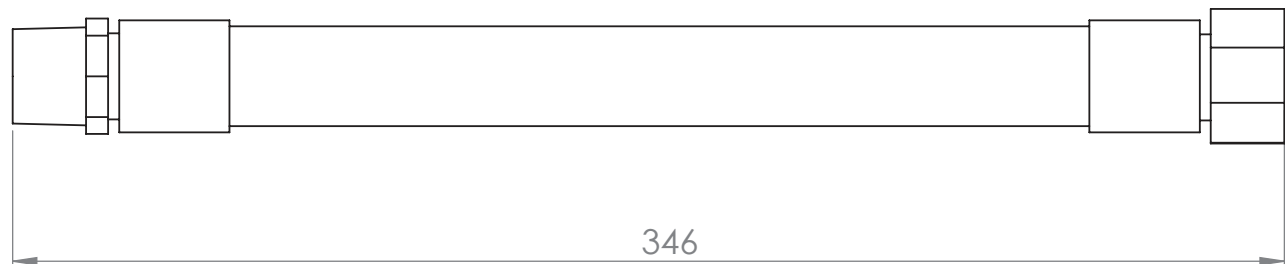
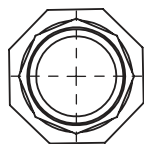
Luis Santiago Paris

REVISION

NOMBRE

FIRMA

FECHA



CRA 49 # 7 SUR - 50

TEL : 261 95 00  
FAX : 266 42 84

PROYECTO:

Prueba de una microturbina  
Michell-Banki de baja potencia

ASIGNATURA:

Proyecto de grado

PIEZA:

MANGUERA 0,75 NPTF-NPTM 1-1

ESCALA:

1:2

UNIDADES:

mm

FORMATO:

A4

SISTEMA:



FECHA:

10/09/14

PLANO:

14/14

DIBUJO:

Santiago Giraldo

APROBO:

Luis Santiago Paris

REVISION

NOMBRE

FIRMA

FECHA